

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій**

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«_____» _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо- професійною програмою «Інформаційні вимірювальні
технології екологічної безпеки»**

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

**на тему: «Підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину
шляхом застосування нової елементної бази»**

Виконав:

студент II курсу, групи ПН-91мп

Ботвінко Роман Олександрович _____

Керівник:

Доцент, к.т.н.

Божко Костянтин Михайлович _____

Консультант з «Розроблення стартап-проекту»:

Доцент, д.е.н., доцент

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Консультант з нормоконтролю:

Доцент, к.т.н.

Божко Костянтин Михайлович _____

Рецензент:

Ст. викладач, к.т.н.

Муравйов Олександр Володимирович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційні вимірювальні технології екологічної безпеки

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Володимир ЄРЕМЕНКО

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
БОТВІНКА РОМАНА ОЛЕКСАНДРОВИЧА

1. Тема дисертації «Підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину шляхом застосування нової елементної бази», науковий керівник дисертації Божко Костянтин Михайлович, доцент, к. т. н., затверджені наказом по університету від «___» _____ 2020 р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації 03 грудня 2020 р.
3. Об'єкт дослідження: процес виникнення власних шумів електронних підсилювачів.
4. Вихідні дані: зменшення власних шумів лінійного індуктосину
5. Перелік завдань, які потрібно розробити
 - 5.1. Провести аналіз досліджень в області використання датчиків переміщень типу «індуктосин».
 - 5.2. Вдосконалити схему підсилювача лінійного індуктосину шляхом застосування нової елементної бази.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:
 - 6.1. Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної голівки індуктосину.
 - 6.2. Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- 7.1. Ботвінко Р.О. Нестандартне використання Multisim на прикладі отримання вольт-амперної характеристики діоду на осцилографі /Р.О. Ботвінко, А.Н. Ніколаєв, М.В. Петров Проблеми оптимізації лінійного контролера: теорія і практичні рішення /А.Д. Руденко, Б.В. Мельничук. //Збірник праць 16-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні». – 8-9 грудня 2018 р. – м. Київ. – 4с. С. 214-217.
- 7.2. Ботвінко Р.О. Моделювання шумів операційних підсилювачів в Multisim /Р.О. Ботвінко, Божко К.М. //Матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 54). – 10 грудня 2020 р. – м. Тернопіль. – 2с.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 3. Стартап проект «Підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину шляхом застосування нової елементної бази»	Бояринова К.О., доцент, доктор економічних наук, доцент		

9. Дата видачі завдання 10 вересня 2020 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Пояснення керівником завдання дипломної роботи	до 15.09.2020 р.	
2	Ознайомлення з літературою та посиланнями	до 01.10.2020 р.	
3	Виконання теоретичної частини дипломної роботи	до 15.10.2020 р.	
5	Виконання дослідної частини дипломної роботи	до 15.11.2020 р.	
6	Розробка стартап проекту	до 25.11.2020 р.	
7	Оформлення дипломної роботи	до 01.12.2020 р.	
8	Фінальна перевірка керівником, на якість виконання та оформлення дипломної роботи	до 07.12.2020 р.	

Студент

Роман БОТВІНКО

Науковий керівник

Костянтин БОЖКО

ANNOTATION

Master's thesis "Increasing the resistance to intrinsic noise of linear inductosin by applying a new element base" framed in the form of an explanatory note containing 74 sheets, 32 tables and 29 illustrations.

The purpose of this work is to increase the resistance to intrinsic noise of linear inductosin.

Research tasks: 1) to analyze research in the field of use of displacement sensors such as "inductosin"; 2) to investigate the own noises of linear inductosin and to improve its scheme by applying a new element base.

The research results can be used in the modernization of machines with numerical program control.

LINEAR INDUCTOSIN, NUMERICAL SOFTWARE CONTROL, OWN NOISE, OPERATING AMPLIFIER

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація «Підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину шляхом застосування нової елементної бази» оформлена у вигляді пояснювальної записки, що містить 74 аркушів, 32 таблиць та 29 ілюстрацій.

Метою роботи є підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину.

Завдання досліджень: 1) провести аналіз досліджень в області використання датчиків переміщень типу «індуктосин»; 2) дослідити власні шуми лінійного індуктосину та вдосконалити його схему шляхом застосування нової елементної бази.

Результати досліджень можуть бути використані при модернізації верстатів із числовим програмним управлінням.

ЛІНІЙНИЙ ІНДУКТОСИН, ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ УПРАВЛІННЯ, ВЛАСНИЙ ШУМ, ОПЕРАЦІЙНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ОП – операційний підсилювач;

ЧПУ – числове програмне управління.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКТОСИНІВ В СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ.....	11
1.1. Принцип дії, побудова та основні характеристики індуктосинів на прикладі поворотного індуктосину.....	11
1.2. Математична модель індуктосина.....	23
1.3. Практичне застосування індуктосинів.....	35
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМИ ЛІНІЙНОГО ІНДУКТОСИНУ ІШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НОВОЇ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ.....	41
2.1. Схема електрична структурна вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291.....	41
2.2. Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної голівки індуктосину.....	46
2.3. Вдосконалення схеми електричної принципової підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину.....	53
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	54
3.1 Опис ідеї проекту.....	54
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	58
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	50
3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	67
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	71
3.6 Висновки.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТОК А. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ПІДСИЛЮВАЧА ГОЛІВКИ ІНДУКТОСИНУ.....	81
ДОДАТОК Б. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА ПІДСИЛЮВАЧА ЛІНІЙКИ ІНДУКТОСИНУ.....	82

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Наявність в експлуатації великого парку верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ), які мають системи вимірювання переміщень на основі поворотних та лінійних індуктосинів, доводить їх витривалість та надійність. Проте, з великою тривалістю життя цих систем стає актуальним питання стійкості індуктосинів до власних шумів. Схеми із старою елементною базою починають шуміти більше, співвідношення сигнал/шум стає меншим і система ЧПУ починає давати збої, що призводить до раптового зупину робочої операції верстату.

Підвищити стійкість індуктосину та ЧПУ в цілому до власних шумів запропоновано шляхом малої модернізації, а саме заміни транзисторних схем підсилювачів сигналу на аналогічні до них схеми на основі операційних підсилювачів (ОП).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення стійкості до власних шумів лінійного індуктосину.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких наукових задач:

- 1) провести аналіз досліджень в області використання датчиків переміщень типу «індуктосин»;
- 2) дослідити власні шуми лінійного індуктосину та вдосконалити його схему шляхом застосування нової елементної бази.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процес виникнення власних шумів електронних підсилювачів.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є лінійний індуктосин.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в експериментальному дослідженні власних шумів електронних схем з тривалим терміном експлуатації.

Практична цінність. Практична цінність досліджень полягає у подовженні терміну експлуатації систем із числовим програмним управлінням, датчиками переміщень яких є лінійні індуктосини.

Апробація результатів. Апробація результатів дослідження відбулася на конференціях:

- 16-й Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні». – 8-9 грудня 2020 р. – м. Київ;
- 54-й Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення».
– 10 грудня 2020 р. – м. Тернопіль.

РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКТОСИНІВ В СИСТЕМАХ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАМНОГО УПРАВЛІННЯ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ

1.1 Принцип дії, побудова та основні характеристики індуктосинів на прикладі поворотного індуктосину

У зв'язку зі зростаючими вимогами до точності роботи різних автоматичних пристроїв все більшу увагу привертає багатополюсний індукційний датчик переміщень з друкованими обмотками, що отримав найменування індуктосин.

Індуктосин – це електрична машина, яка побудована із двох ізоляційних дисків, на суміжних поверхнях на яких нанесені друковані обмотки. Обмотки по суті є пластини, по яким тече струм, і які з'єднані по черзі або біля центру, або на краях диску. Кількість таких пластин має бути парною. Диски розташовані на одній осі паралельно і можуть обертатись один відносно одного.

Серед переваг використання індуктосина відзначимо такі як висока точність, порядку кількох кутових секунд, мала споживана потужність, невелика вага і малі розміри з урахуванням універсальності роблять прилад досить корисним в системах управління, системах стеження і при вимірах неелектричних величин електричними методами. Індуктосин може знайти широке застосування в народному господарстві при програмному управлінні металорізальними верстатами, радіолокаційних пристроях, навігаційних системах і взагалі скрізь, де потрібне точне вимір кутових переміщень.

Поворотний індуктосин представляє собою прилад, основним елементом якого є два диска з ізоляційного матеріалу, розташовані співосно і паралельно. Диски можуть повертатися щодо один одного на вимірюваний кут.

На суміжні поверхні дисків друкованим способом наносяться обмотки, які становлять ряд радіальних струмопровідних пластин-провідників, з'єднаних по черзі то біля центру, то на периферії, що утворюють безперервну лінію, що має розриви для приєднання струмопровідних проводів. Найпростішою формою виконання обмотки є обмотка, розташована в 360° диску, що має розрив для підведення струму.

На диску розташовують зазвичай і кілька обмоток. Обмотки ці можуть бути безперервними або розбитими на секції, з'єднані відповідним чином.

Індуктосин виконують у різних варіантах: можуть бути використані два диска, що мають поодинокі багатополюсні обмотки, або на одному з дисків може бути поміщена одинична обмотка, а на другому – розділена на секції і, нарешті, на обох дисках можуть бути поміщені обмотки, що розділені на секції. Вибір того, чи іншого поєднання обмоток на дисках визначається призначенням індуктосина.

Якщо до первинної обмотки докласти змінну напругу, то на вторинній обмотці з'явиться напруга, що є функцією кутового положення дисків.

Будемо надалі називати кутовою відстанню між початками (кінцями) сусідніх радіальних провідників полюсним діленням обмотки $\tau/2$ і подвоєну величину полюсного поділу кроком обмотки τ . В даний час найбільшого поширення набув варіант виконання поворотного індуктосина, у якого статор складається з двох багатополюсних секційованих фазних обмоток, а ротор – з однієї багатополюсної обмотки. Обмотки статора при цьому зміщені одна відносно другої на половину полюсного поділу обмотки ротора. На рисунку 1.1 схематично показана конфігурація обмоток ротора і статора на рисунку 1.2 поворотного індуктосина.

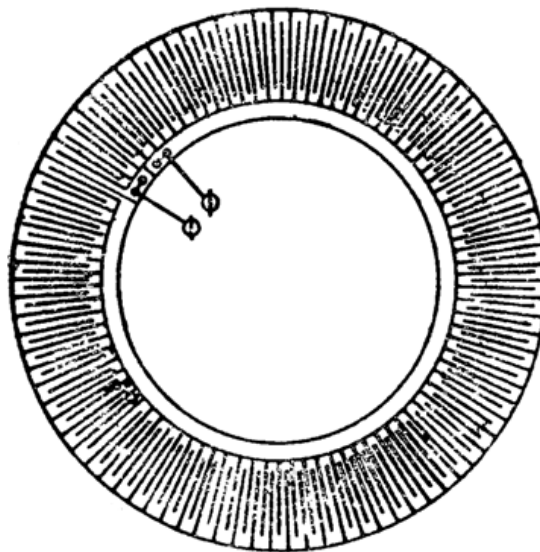


Рисунок 1.1 – Конфігурація обмотки ротора

На рисунку 1.2 представлено конфігурацію обмотки статора.

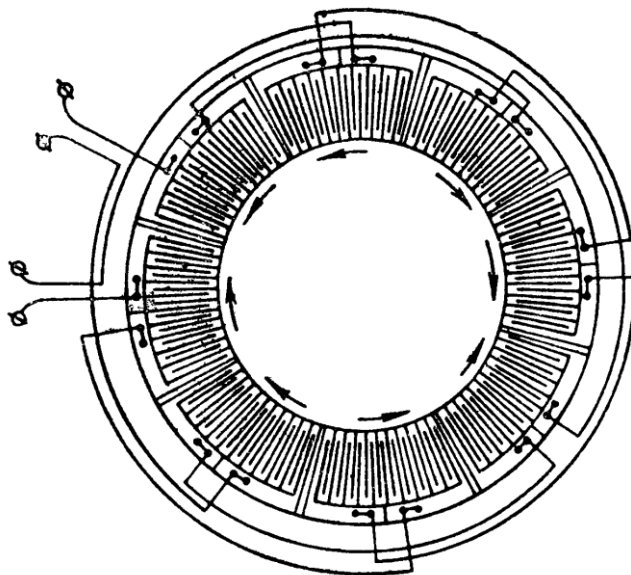


Рисунок 1.2 – Конфігурація обмотки статора

Ряд спеціальних заходів, розглянутих в подальшому, дозволяє отримати синусоїдну зміну взаємної індукції між статором і ротором в функції кута повороту ротора.

Число радіальних провідників ротора має бути парним, для того, щоб напрямок магнітних полів у двох суміжних провідниках, на яких закінчується обмотка, був протилежним, і щоб обмотка була симетрична. На рисунку 1.2, схематично показана двофазна обмотка статора приладу, кожна фаза якої складається з чотирьох секцій. На малюнку вказані напрямки струмів в обмотках і спосіб їх з'єднання. Як і на роторі, кожна секція обмотки статора повинна містити парне число провідників. Щодо визначення числа провідників обмоток індуктосина. Здавалося б, чим менше крок обмоток, тобто чим більше число провідників, тим більша точність може бути отримана. Фактично ж для повітряного трансформатора коефіцієнт індуктивного зв'язку вельми низький і при великому числі полюсів ємнісний зв'язок між первинною і вторинною обмоткою може виявитися сумірним з індуктивним зв'язком.

Поширені плоскі трансформатори, що мають 100, 108, 128, 144, 180, 256 і 360 пар полюсів [1]. вибір числа пар полюсів залежить і від призначення приладу. Так, при використанні двійкового коду зручні 128- і 256-парні полюсні прилади, при десятковій системі обмотки індуктосина повинні мати 100-200 пар полюсів, а для градусного відліку прилади з числом пар полюсів 180 і 360. Провідники на дисках повинні бути нанесені з відносно високою точністю, хоча велике число провідників і викликає усереднення в загальному індуктивному зв'язку між

обмотками ротора і статора, тим самим знижуючи вплив похибки в нанесенні окремих провідників. При розрахунку обмоток індуктосина повинні бути враховані дві істотні обставини:

1. Вплив контурних струмів, що протікають по з'єднувальним частинам обмоток по зовнішньому і внутрішньому діаметрах.

2. Вплив несинусоїдальності взаємної індукції між радіальними провідниками первинної та вторинної обмоток у функції кута повороту ротора.

Зазначені причини можуть викликати появу додаткових істотних помилок і вимагають спеціальних заходів щодо їх усунення.

При розрахунку та виконанні обмоток індуктосина слід враховувати також те, що індуктивний зв'язок між обмотками має місце не тільки за рахунок зв'язку між радіальними провідниками ротора і статора, але також за рахунок контурного струму, що протікає по з'єднаннях між радіальними провідниками. Так як ці провідники з'єднані послідовно, то контурний струм не залежить від відносного кутового положення дисків в інтервалах, значно більших кроку обмоток індуктосина. Ці струми складаються або віднімаються зі струмами, що змінюються від радіальних провідників, тим самим спотворюючи синусоїдальний зв'язок між обмотками.

Вплив контурних струмів можна виключити або звести до мінімуму шляхом поділу обмоток ротора і статора на ряд секцій з таким розрахунком, щоб в одній або декількох секціях контурний струм проходив в одному напрямку, тоді як в одній або кількох інших секціях цей струм протікав би в протилежному напрямку. Центральний кут, займаний секціями з протилежними напрямками струму, повинен бути при цьому однаковий. Боротьбу з контурним струмом можна проводити одночасно як на роторі, так і на статорі приладу [2].

Якщо розділити обмотку ротора, що містить, наприклад, 108 полюсів, на дві рівні частини по 54 полюса в кожній і розташувати кожен з них в 180° диска, то при правильному послідовному з'єднанні обмоток контурний струм в одній обмотці буде проходити за годинниковою стрілкою, в той час як в іншій обмотці він матиме протилежний напрямок. Відстань між обмотками становить при цьому точно одна полюсна поділка. Боротьбу з контурним струмом можна вести і на статорі приладу. Якщо кожна з обмоток розділена на чотири секції, то досить зробити правильне їх включення.

На рисунку 3 показаний спосіб з'єднання секцій однієї з обмоток статора. Тут кінець першої секції з'єднується з кінцем другої секції, початок другої секції з початком третьої і т.д. При зазначеному способі з'єднання обмоток контурні струми в сусідніх секціях спрямовані зустрічно. У загальному випадку число секцій на статорі може бути кратним восьми. Число секцій ротора має бути кратним двом. Число секцій більше 24 на статорі і 8 на роторі призводить до надмірної складності комутації.

На рисунку 1.3 показаний статорний диск індуктосина з двома багатополюсними обмотками, зсувними на половину полюсного поділу.

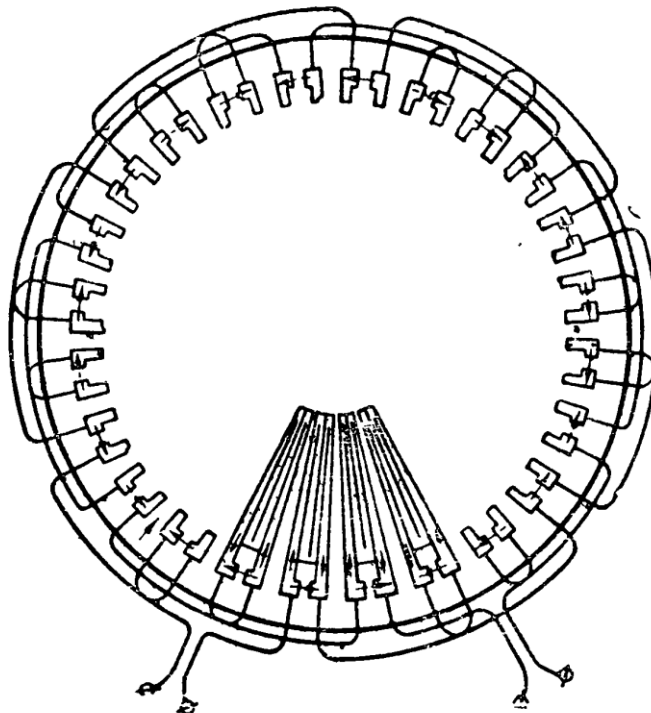


Рисунок 1.3 – Конфігурація обмотки 24-секційного індуктосина

На диску розташовані 24 секції, кожна з яких містить чотири радіальних провідника. Дванадцять секцій чергуються і утворюють фазу. Обмотки на малюнку відтворені неповністю, зображені тільки чотири секції, інші 20 секцій зображені схематично.

Просвіти між провідниками усередині секції для простоти зображені суцільними лініями. Полюсний поділ обмотки тут одно $3^{\circ}20'$, кут, займаний секцією, дорівнює $3^{\circ}20' \cdot 4 = 13^{\circ}20'$. Зрушення на 90 електричних градусів досягається вибором відповідного зазору між секціями і становить половину полюсного поділу, тобто $1^{\circ}40'$. Секції всередині обмоток з'єднані послідовно і так, щоб струми в сусідніх секціях однієї обмотки були спрямовані зустрічно, напрямок струмів показано на малюнку стрілками. Очевидно при зазначеному

способі з'єднання обмоток постійна складова ЕРС, що індуктується роторі від контурних струмів, буде відсутня.

В ідеальному випадку ЕРС обмотки ротора індуктосина повинна змінюватися по синусоїдальним законом, однак, як буде ясно з подальшого, форма кривої ЕДС буде крім основної містити непарні вищі гармоніки, які викликають появу додаткової похибки. Відомі три способи придушення вищих гармонік, всі вони ґрунтуються на зміні розташування радіальних провідників обмоток або зміні їх розмірів. Фізичний зміст обох способів зображено на рисунку 1.4.

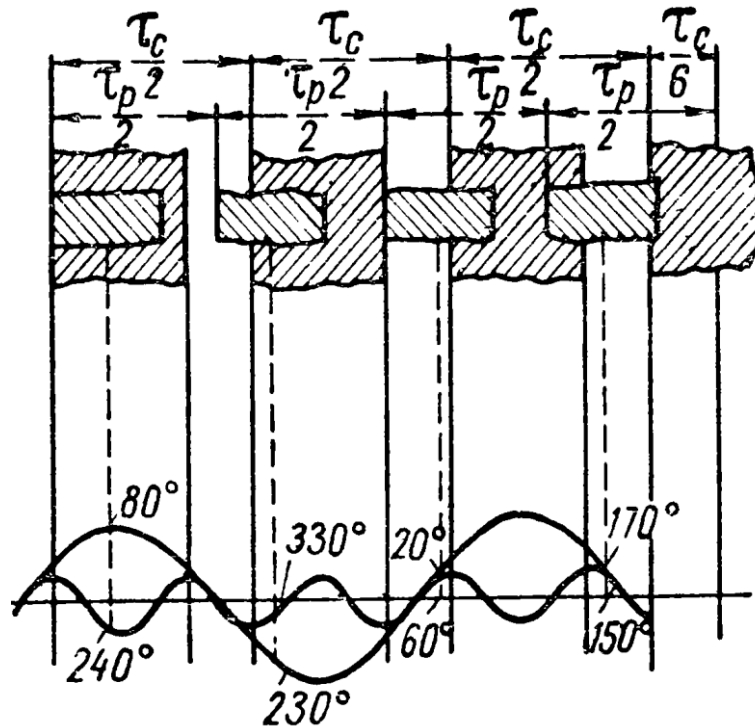


Рисунок 1.4 – Розріз обмоток індуктосина

Тут показані в розрізі ротор і статор індуктосина. Число провідників ротора в центральному куті прийнято рівним 4, число провідників статора рівне $3\frac{1}{3}$. Відношення ширини провідників і просвіту в середньому становить $\frac{2}{3}$, що відповідає випадку придушення третьої гармоніки поля. Під зображенням обмотки показаний характер розподілу магнітного поля в повітряному зазорі. На рисунку наведено тільки перша і третя гармоніки магнітного поля. З рисунку видно, що при даній конфігурації статорної обмотки третя гармоніка поля знищується вже в обмотці статора. Про це говорить рівність площ позитивної і негативної півхвиль третьої гармоніки.

Другий спосіб також може бути проілюстрований на цьому рисунку. Якщо провести пунктиром лінії через середини провідників обмотки ротора, то неважко

бачити, що сума позитивних ($60+150^\circ$) дорівнює сумі негативних ($240+330^\circ$) ординат третьої гармоніки. Якщо обмотка зміститься вліво або вправо на рівні відстані від пунктирною лінії, то рівність сум відповідних ординат зберігається. Зі сказаного можна зробити висновок, що в кривій ЕРС ротора третя гармоніка при цьому відсутня.

Аналогічно може бути погашена будь-яка непарна гармоніка. Як зрозуміло з викладеного, для придушення тієї чи іншої гармоніки досить виключити цю гармонійну складову або на статорі, або на роторі. Але так як практичне виконання обмоток проводиться з деякою технологічною помилкою, то придушення гармоніки виявляється неповним.

Виключення однієї і тієї ж гармоніки одночасно на статорі і роторі приладу підвищує вірогідність її повного зникнення в ЕРС обмотки ротора.

Частота напруги живлення індуктосина зазвичай складає 10 кГц. Проте можливі варіації від 200 Гц до 100 кГц. Коефіцієнт передачі по напрузі може становити 0,005 при повітряному зазорі 0,12 мм і частоті живлення 10 кГц. Працювати на більш низьких частотах важко.

При використанні більш високих частот починає позначатися нерівномірність розподілу струму по перетину провідника обмотки. Крім того, індуктивні і ємнісні опори індуктосина стають порівнюваними, а останнє, як зазначалося вище, призводить до зниження точності.

Обмотки індуктосина мають опір близько 1-5 Ом при власній індуктивності в кілька мікрогенрі. Тому при частотах 10 кГц вони практично діють як активні опори і вихідна напруга зміщена на 90° по відношенню до напруги живлення.

На сьогодні широко використовуються оптичні датчики для вимірювання кутових переміщень. Але у порівнянні з прецизійними, оптичні менш точні, а виробництво аналогічних по точності до прецизійних пов'язано зі складнощами при виробленні, експлуатації.

У таблиці 1.1 наведені порівняльні характеристики.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця

Характеристика	Поворот ний індуктосин	Auto nics E20 series	Autonic s E40S series	Autonics E100H series
Похибка вимірювання, кутових секунд	5	3600	259	129
Температура навколишнього середовища, °C	-20- (+70)	-10- (+70)	-10- (+70)	-10- (+70)
Вібростійкість (амплітуда 1,5 мм), Гц	-	10-50	10-55	10-55
Напруга живлення, В	198-242	5; 12	5; 12	12-248
Повна маса, г	100	35	80	1200

При живленні обмоток статора змінним струмом в роторі індуктосина може створюватись ЕРС, амплітуда і фаза якої (або тільки амплітуда, або тільки фаза) є функціями кута повороту ротора щодо статора. При різних способах живлення обмоток статора можна отримати залежність фази напруги від кута повороту ротора при незмінній амплітуді, або навпаки, зміна амплітуди при постійній фазі вихідної напруги. Залежно від способів живлення обмоток статора можливі два режими роботи індуктосина:

1. При живленні обмоток статора напругами, амплітуди яких змінюються, відповідно, за синусоїдальним і косинусоїдальними законам, а фаза збігається, індуктосин працює в режимі пульсуючого поля, а вимірювання кута проводиться при нульовому значенні напруги (струму) на виході індуктосіна.

2. При живленні обмоток статора напругами рівної амплітуди, але зсунутими по фазі на 90° , індуктосин працює в режимі обертового поля, а вимірювання кута зводиться до виміру фази напруги (струму) на виході індуктосина.

Відповідно до цього в подальшому будемо називати перший режим роботи амплітудним, другий – фазовим. При амплітудному режимі роботи індуктосина, амплітуда напруги, що знімається, змінюється за синусоїдальним (косинусоїдальному) закону, фаза ж залишається незмінною.

Результуюча напруга при фазовому режимі роботи залишається постійною по амплітуді, а фаза є багатозначною лінійною функцією взаємного розташування дисків індуктосина. Інформація, що міститься в цій фазі, може передаватися на будь-які відстані за відповідними лініями зв'язку, при цьому необхідно, крім індуктованої в роторі напруги, відповідним чином посиленої, передавати також і опорну напругу. Різниця фаз цих напруг являє собою інформацію про взаємне розташування дисків індуктосина і не залежить від амплітуди прийнятих сигналів.

Неважко помітити, що при фазовому режимі роботи індуктосин являє собою багатополіусний індукційний фазообертач, що відрізняється від звичайного фазообертача наявністю електричної редукції між кутом повороту ротора і фазою вихідної напруги.

На рисунку 1.5 показані для порівняння криві зміни фази вихідної напруги індуктосина 1 і звичайного фазообертача 2 залежно від кута повороту ротора.

При крутизні в p разів більшою, ніж для однополіусного фазообертача, фазова характеристика індуктосина має багатозначність. Останнє, як вже вказувалося, викликає необхідність в каналі грубого відліку при вимірюванні кутів великих $360^\circ/p$.

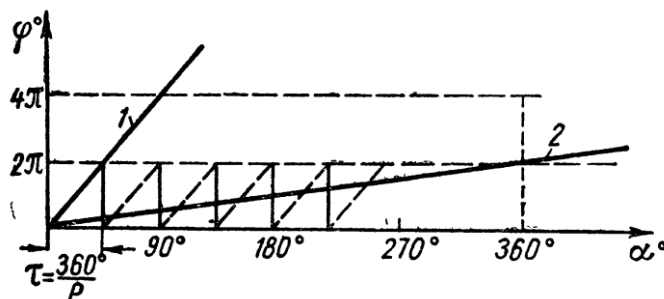


Рисунок 1.5 – Криві зміни фази вихідної напруги індуктосина (1) і фазообертача (2)

З кривих, показаних на рисунку 1.5, також випливає, що для отримання заданої точності по куту може бути допущена в p раз велика похибка при вимірюванні фази вихідної напруги. Зручно проілюструвати обидва розглянутих режими роботи на прикладі індикаторної системи стеження, що включає всі основні елементи автоматичних пристроїв, які використовують індуктосин.

По суті індикаторна система стеження є пристроєм, що забезпечує редукцію з передаточним відношенням, рівним p . На рисунку 1.6 і 1.7 показано блок-схему фазового режиму роботи такої індикаторної системи.

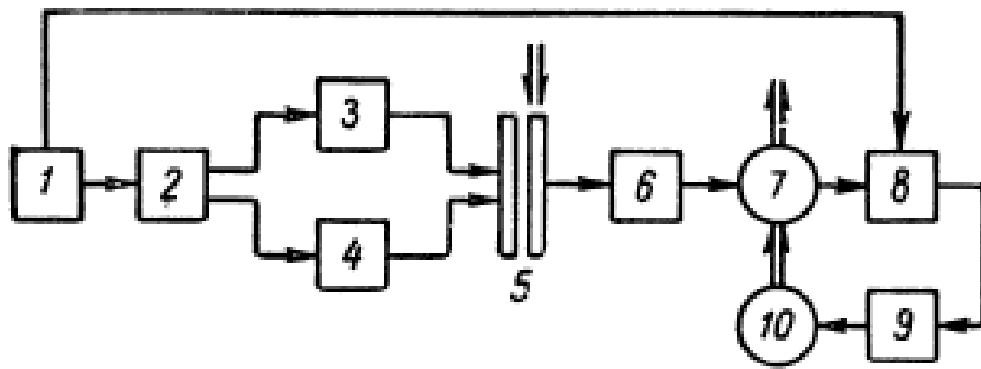


Рисунок 1.6 – Блок-схема фазового режиму роботи

При фазовому режимі (рисунок 1.6) робота пристрою відбувається наступним чином: напруга живлення від генератора 1 через фазозсувний ланцюжок 2 і підсилювачі статора 3 і 4 подається зі зміщенням в 90° на статорні обмотки індуктосина 5, тим самим створюючи обертове поле. При повороті ротора з початкового положення відбувається зміна фази напруги на його затискачах, яке через підсилювач ротора 6 і фазообертач 7 надходить на один з входів фазочутливого випрямляча 8, другий вхід якого живиться безпосередньо від генератора. Система стеження, що складається з силового підсилювача 9 і двигуна з редуктором 10, шляхом повороту ротора фазообертача зводить до нуля сигнал фазочутливого випрямляча неузгодженості, що з'явився на виході. Так, якщо з усталеного положення ротор індуктосина повернути на кут α , то це призведе до зміни фази напруги ротора на $r\alpha$. Нове усталене положення настане тоді, коли двигун поверне ротор фазообертача на кут $r\alpha$, при якому повністю компенсується зміна фази, викликане поворотом ротора індуктосина. Якщо забезпечити фазообертач пристроєм зі шкалою, то за його допомогою можна провести відлік кута з необхідною точністю.

На рисунку 1.7 зображено блок-схему амплітудного режиму роботи індикаторної системи.

При амплітудному режимі роботи (рисунок 1.7) пристрій складається з тих же елементів, що й у випадку (рисунок 1.6), 20 оживлять робота суттєво відрізняється від роботи останнього.

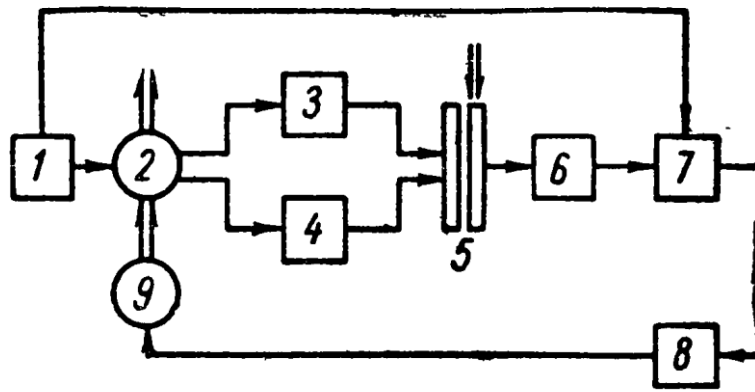


Рисунок 1.7 – Блок-схема амплітудного режиму роботи

Як і раніше, живлення схеми здійснюється від генератора 1, напруга якого подається на поворотний трансформатор 2. З поворотного трансформатора отримують дві напруги, пропорційні синусу і косинусу кута повороту ротора. Ці напруги збігаються по фазі. Напруга від поворотного трансформатора, посилена за допомогою підсилювачів статора 3 і 4, подається на статорні обмотки індуктосина 5, створюючи пульсуюче поле статорної обмотки.

Напруга з ротора індуктосина через підсилювач ротора 6 подається на вхід фазочутливого випрямлювача 7. Опорна напруга як і при фазовому режимі виробляється генератором. Фазочутливий детектор перетворює сигнал підвищеної частоти в сигнал постійного струму, пропорційний за величиною і знаку амплітуді сигналу неузгодженості. Цей сигнал, поступаючи на силовий підсилювач 8, впливає на двигун з редуктором 9, який повертає ротор поворотного трансформатора доти, поки не зведе сигнал неузгодженості до нуля.

Поворот ротора поворотного трансформатора, як і при фазовому режимі, буде дорівнює $\rho\alpha$. Індикаторна система стеження може бути побудована і за відмінною схемою, коли живлення індуктосина здійснюється з боку ротора.

Фазовий і амплітудний режими роботи індуктосина використовуються в різних областях техніки, і вибір того чи іншого режиму визначається конкретним завданням, що стоїть перед розробником автоматичної системи. На прикладі індикаторної системи стеження ми бачили, що елементи, складові блок-схем, в обох випадках ідентичні і їх кількість однакова.

Обидва режими роботи можуть використовуватися при розробці синхронної системи стеження. Блок-схеми таких систем відрізняються від описаних вище блок-схем лише застосуванням другого індуктосина замість фазообертача або

поворотного трансформатора. Це дає можливість при однакових по кроку індуктосинах отримати високоточний синхронний зв'язок між двома валами.

Для виконання перетворення інформації типу «код-кут» може бути використаний амплітудний режим роботи. У цьому випадку блок-схема, зображена на рисунку 1.7, трохи видозмінюється, відпрацювання виробляється на ротор індуктосина. Дискретні значення кута задаються шляхом установки ротора поворотного трансформатора в певне фіксоване положення.

Для підвищення точності перетворення замість одного поворотного трансформатора використовується вирішальна схема [3], що дозволяє отримати синус (косинус) суми кількох кутів. Найчастіше [4] підсумовування проводиться на трьох поворотних трансформаторах, в трирозрядній системі. Введений дискретно кут, що може приймати будь-яке значення, ділиться на 1000 частин по $0,36^\circ$. Завдяки послідовному з'єднанню поворотних трансформаторів, кожен ділиться всього на десять частин, що фіксуються дискретно. Необхідна напруга виходить в результаті підсумовування синусів (косинусів) трьох кутів, один з яких задає «одиниці» величиною по $0,36^\circ$ на «точному» поворотному трансформаторі, інший – «десятки» по $3,6^\circ$ на «середньому» поворотному трансформаторі і третій – «сотні» по 36° на «грубому» поворотному трансформаторі. Наприклад, тризначне число 112 відповідає куту $40,32^\circ$ і задається як сума $36^\circ + 3,6^\circ + 2 \cdot 0,36^\circ$. Для його введення необхідно повернути перший і другий поворотні трансформатори на одне ділення, тобто на 36° , а третій на два ділення, тобто на 72° .

Два напруги, пропорційні синусу і косинусу $40^\circ 32'$, знімаються з вторинних обмоток поворотного трансформатора точного відліку. Методична точність пристрою становить ± 18 ». Інструментальна точність системи лімітується точністю поворотного трансформатора «грубого» відліку, який вибирається нульового класу точності. У деяких випадках [5] аналогічний: ефект досягається за допомогою послідовного з'єднання секційованих трансформаторів. Точність вводу при цьому може бути значно підвищена і досягає при п'яти розрядах $\pm 1,8$ ». Значення синусів і косинусів кожного розряду виражається коефіцієнтами трансформації відповідних секцій трансформатора. Множення досягається послідовним з'єднанням трансформаторів, додавання – послідовним з'єднанням вторинних обмоток.

Для отримання позитивних і негативних чисел вторинна обмотка трансформатора має середню точку. Напруга секцій однієї половини обмотки щодо середньої точки матиме позитивний знак, а іншої половини – негативний, як та, що знаходиться в протифазі до першого.

Для виконання перетворення інформації типу кут-код використовується, як правило, фазовий режим роботи. Звернемося до блок-схеми, що наведена на рисунку 1.6. Для перетворення інформації використовуються два напруги: опорна від генератора і змінної фази від підсилювача ротора індуктосина. Фазообертач, фазочутливого випрямляча і система стеження в цьому випадку не використовуються.

Ротор індуктосина зміцнюється на валу, кут повороту якого перетвориться в код. При повороті ротора фаза напруги на виході підсилювача ротора змінюється пропорційно кутку його повороту. За нульове положення ротора приймається таке, при якому фази напруг генератора і підсилювача ротора збігаються. Напруга від генератора і підсилювача ротора індуктосина подаються на формувачі, які видають імпульси в момент, коли напруги проходять через нуль від мінуса до плюса. Коли ротор індуктосина зрушає щодо нульового положення, між імпульсами з'являється тимчасовий інтервал. Величина цього інтервалу є мірою кута повороту ротора. Імпульс, сформований напругою генератора, відмикає безперервно працюючий генератор рахуючих імпульсів. Імпульс, сформований напругою від підсилювача ротора, замикає його.

Таким чином, тимчасовий інтервал виявляється перетвореним в послідовність імпульсів, пропорційну змінюваному куту повороту валу. Надалі отримана послідовність імпульсів відомими методами перетвориться в двійковий або десятковий код. Слід зауважити, що перетворювач в цьому випадку працює без зворотних зв'язків.

1.2. Математична модель індуктосина.

Розглянемо випадок, коли статор індуктосина являє собою дві багатополюсні секційовані обмотки, зсунуті одна відносно одної на 90 електричних градусів, а ротор – одиничну багатополюсну обмотку [6].

У зв'язку із періодичністю рисунка обмотки кут повороту ротора щодо статора можна представити у вигляді:

$$a = \beta + k\tau = \beta + \frac{2\pi}{p} \cdot k \quad (1.1)$$

де τ – крок обмотки;

β – кут повороту ротора всередині кроку;

p – число пар полюсів обмотки ротора або коефіцієнт редукції індуктосина;

$k = 0, 1, 2, 3, \dots$

У подальшому для спрощення запису формул будемо вважати, що кут повороту ротора не більше, ніж τ , тобто приймаємо $k = 0$.

На рисунку 1.8 зображено схему електричних зв'язків індуктосина

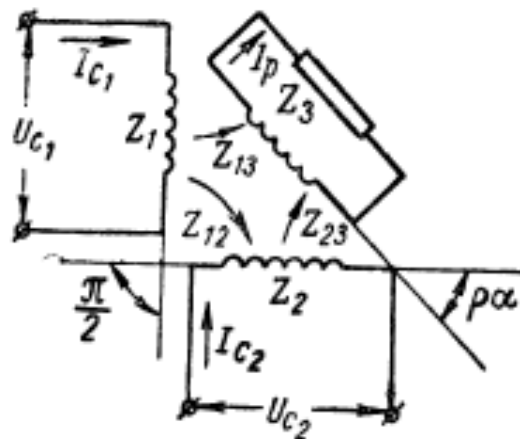


Рисунок 1.8 – Схема електричних зв'язків індуктосина

Схема електричних зв'язків приладу, що зображена на рисунку 1.8, може бути представленою аналогічно до схеми для поворотного трансформатора, що має дві обмотки на статорі (тобто дві фази) і одну на роторі. Струми, що протікають в обмотках індуктосина, можуть бути представлені у вигляді системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} z_1 \dot{I}_{c1} + z_{12} \dot{I}_{c2} + z_{13} \dot{I}_p &= \dot{U}_{c1} \\ z_{21} \dot{I}_{c1} + z_2 \dot{I}_{c2} + z_{23} \dot{I}_p &= \dot{U}_{c2} \\ z_{31} \dot{I}_{c1} + z_{32} \dot{I}_{c2} + z_3 \dot{I}_p &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

де $\dot{U}_{c1}, \dot{U}_{c2}$ – напруги живлення першої і другої обмоток статора;

$\dot{I}_{c1}, \dot{I}_{c2}$ – струми в першій і другій обмотках статора;

\dot{I}_p – струм в обмотці ротора;

Z_1, Z_2 – повні опори першої і другої обмоток статора;

Z_3 – повний опір вторичного кола індуктосина (сумарний опір обмотки ротора і навантаження);

Z_{12}, Z_{21} – взаємні опори між першою і другою обмотками статора;

Z_{13}, Z_{31} – взаємні опори між першою обмоткою статора і обмоткою ротора;

Z_{23}, Z_{32} – взаємні опори між другою обмоткою статора і обмоткою ротора.

Рішення системи рівнянь (1.2) дає значення струму в обмотці ротора індуктосина у наступному вигляді:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{c1}(z_{21}z_{32} - z_{22}z_{31}) - \dot{U}_{c2}(z_{12}z_{32} - z_{11}z_{31})}{z_{11}z_{22}z_{33} + z_{12}z_{23}z_{31} + z_{13}z_{21}z_{32} - z_{11}z_{23}z_{32} - z_{12}z_{21}z_{33} - z_{13}z_{22}z_{31}} \quad (1.3)$$

Для точної роботи приладу необхідно його обмотки виконати таким чином, щоб виконувались наступні умови:

1. Повні опори опору обмоток статора повинні бути рівні між собою:

$$z_1 = z_2 = z_3 \quad (1.4)$$

2. Взаємні опори обмоток статора мають бути рівними нулю:

$$z_{12} = z_{21} = 0 \quad (1.5)$$

3. Взаємні опори між обмотками статора і обмоткою ротора повинні змінюватись по синусоїдальному (косинусоїдальному) закону при повороті ротора індуктосина:

$$\left. \begin{aligned} z_{13} = z_{31} &= -j\omega M_{13} \sin p\alpha \\ z_{23} = z_{32} &= j\omega M_{23} \cos p\alpha \\ M_{13} = M_{23} &= M \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

де M_{13}, M_{23} – максимальні значення коефіцієнтів взаємної індукції між відповідними обмотками статора і обмоткою ротора.

При порушенні будь-якої із вказаних умов порушується точна робота приладу і виникає похибка вимірювання кутового положення валу.

Розглянемо роботу індуктосина в різних режимах роботи.

При амплітудному режимі роботи живлення обмоток статора індуктосина виконається наступними напругами, що записані виразами:

$$\dot{U}_{c1} = U_{c1} \cos \psi \sin \omega t, \quad \dot{U}_{c2} = U_{c2} \sin \psi \sin \omega t \quad (1.7)$$

а при фазовому режимі:

$$\dot{U}_{c1} = U_{c1} \sin \omega t, \quad \dot{U}_{c2} = U_{c1} \cos \omega t \quad (1.8)$$

Для обох варіантів живлення повинно виконуватись наступне відношення:

$$\dot{U}_{c1} = \dot{U}_{c2} = U_c \quad (1.9)$$

При живленні обмоток статора напругою, що визначається виразом (1.7), струм в обмотці ротора визначається з рівності (1.3), з урахуванням умов (1.4), (1.5), (1.6), у вигляді:

$$\dot{I}_{p.a} = \frac{j\omega MU_c \sin \omega t}{z z_3 + \omega^2 M^2} \sin(p\alpha - \psi) \quad (1.10)$$

де U_c – амплітуда напруги живлення обмоток статора приладу;

ψ – кут, що зв'язує амплітуди напруг живлення.

Якщо живлення індуктосина при амплітудному режимі роботи здійснюється від синусно-косинусного обертового трансформатора, кут ψ є кутом повороту ротора обертового трансформатора. Умовою відліку кута в розглянутому режимі роботи є рівність нулю струму в обмотці ротора. Очевидно, це має місце при

$$\psi = p\alpha \quad (1.11)$$

тобто невеликої зміни кута повороту ротора індуктосина відповідає значна зміна кута ψ . Отже, має місце електрична редукція між кутами повороту ротора індуктосина і допоміжного елемента, на якому проводиться відпрацювання кута ψ .

Фазовий режим роботи індуктосина має місце при живленні його статорних обмоток напругами згідно з умовою (7). Струм в обмотці ротора з рівняння (1.3) з урахуванням умов (1.4), (1.5), (1.6) і (1.9) буде рівним:

$$\dot{I}_{p.\phi} = \frac{\omega MU_c \sin \omega t}{z z_3 + \omega^2 M^2} (\cos p\alpha + j \sin p\alpha) \quad (1.12)$$

З цього виразу видно, що модуль вектора струму не змінює своєї величини, а його аргумент:

$$\arg \dot{I}_{p.\phi} = p\alpha \quad (1.13)$$

тобто фаза струму на виході індуктосина змінюється в p разів швидше, ніж кут повороту його ротора.

Як і у випадку амплітудного режиму роботи, має місце електрична редукція між кутом повороту ротора приладу і фазою струму на його виході. Завдання вимірювання кута зводиться до виміру фази струму на навантаженні. Це вимірювання може виконуватися за допомогою індукційного фазообертача або фазометра.

Виникнення помилок у роботі індуктосина може бути викликано наступними основними причинами:

1. Нерівністю амплітуд полів обмоток статора.
2. Нерівністю фаз полів обмоток статора.
3. Зв'язком між обмотками статора.
4. Появою вищих гармонік в кривій поля.

Причини виникнення помилок можуть залежати від конструкції приладу і точності його виготовлення (технологічні похибки), а також від зовнішніх причин, таких як, наприклад, порушення режиму живлення і т. П.

Вивчення одночасної дії кількох причин на точність роботи індуктосина спрощується завдяки тому, що в ряді випадків їх вплив однаково позначається на точності роботи приладу і дія кількох чинників може бути зведене до дії одного з них. Дійсно, якщо звернутися до рівняння (1.3), то неважко помітити, що воно симетричне відносно \dot{U}_{c1} ; \dot{U}_{c2} , z_1 і z_2 , M_{13} і M_{23} , тобто відмінність в амплітудах перерахованих величин і фазах \dot{U}_{c1} ; \dot{U}_{c2} або z_1 і z_2 , однаково позначається на точності вимірювання кута.

Для визначення помилок вимірювання кута, викликаних причинами 1, 2 і 3, можна запропонувати методику розрахунку, яка полягає в тому, що в рівняння (1.3), залежно від режиму роботи, підставляється вираз (1.7) для амплітудного режиму або (1.8) для фазового режиму. Потім отримане рівняння записується з урахуванням умов (1.4) і (1.5), одне з яких слід видозмінювати відповідно до характеру причини, що викликає похибку. Після зазначених перетворень отримане рівняння враховує вплив розглянутих причин на точність вимірювання кута.

Відповідно, тепер для амплітудного режиму роботи $\psi = p\alpha$, а для фазового режиму аргумент $I_{p,\phi}$ відрізняється від $p\alpha$.

Похибка, що нас цікавить, через її малий розмір, може бути обчислена за формулами:

$$\Delta\alpha = \frac{1}{p} \operatorname{tg}(p \cdot \Delta\alpha) = \frac{1}{p} \operatorname{tg}(p\alpha - \psi) \quad (1.14)$$

для амплітудного режиму роботи і

$$\Delta\alpha = \frac{1}{p} \operatorname{tg}(p \cdot \Delta\alpha) = \frac{1}{p} \operatorname{tg}(p\alpha - \arg \dot{I}_{p.\phi}) \quad (1.15)$$

для фазового режиму роботи індуктосина.

Похибки індуктосина в амплітудному і фазному режимах роботи.

Різниця амплітуд магнітних полів обмоток статора може бути викликано наступними причинами: неоднаковими по модулю напругою, які живлять обмотки статор ; неоднаковим по модулю опором обмоток статора; відміною максимальної взаємної індуктивності між обмотками статора і ротора. Як вже вказувалося, рівняння (1.3) симетричне відносно \dot{U}_{c1} і \dot{U}_{c2} , z_1 і z_2 , M_{13} і M_{23} . Отже, можна стверджувати, що похибка у вимірюванні кута, викликана відмінністю перерахованих величин, однакова і визначається відношенням відповідних величин. Обмежимося розглядом похибки, що виникає при нерівності опорів обмоток статора приладу.

Визначимо, що:

$$\frac{z_1}{z_2} = \eta_2 \text{ і } \frac{\Delta z}{z_2} = \frac{z_2 - z_1}{z_2} = 1 - \eta_2$$

Умови (1.5), (1.6) і (1.9) вважаємо такими що виконуються. В амплітудному режимі рівняння для струму в обмотці ротора на основі рівняння (1.3) має вигляд:

$$\dot{I}_{p.a} = \frac{j\omega M U_c \sin \omega t (z_2 \sin p\alpha \cos \psi - z_1 \cos p\alpha \sin \psi)}{z_1 z_2 z_3 + z_2^2 \omega^2 M^2 \sin^2 p\alpha + z_1 \omega^2 M^2 \cos^2 p\alpha} \quad (1.16)$$

Умовою відліку кута є

$$z_2 \sin p\alpha \cos \psi - z_1 \cos p\alpha \sin \psi = 0$$

або

$$\operatorname{tg} p\alpha = \eta_z \operatorname{tg} \psi \quad (1.17)$$

Тоді похибка вимірювання кута по формулі (1.15) визначається як:

$$\Delta\alpha = \frac{(\eta_z - 1) \operatorname{tg} \psi}{p(1 + \eta_z \operatorname{tg}^2 \psi)} \quad (1.18)$$

Відповідно, похибка $\Delta\alpha$ є функцією кута ψ .

Максимальне значення похибки вимірювання кута повороту ротора

$$\pm \Delta\alpha_{\max} = \frac{\eta_z - 1}{2p\sqrt{\eta_z}} \quad (1.19)$$

і має місце при кутах

$$\psi_{\text{макс}} = \pm \arctg \frac{1}{\sqrt{\eta_z}} + \pi k \quad (1.20)$$

де $k=0, 1, 2, 3, \dots$

При невеликій різниці між z_1 і z_2 величина η_z близька до одиниці і

$$\left. \begin{aligned} \Delta\alpha &\approx \frac{1}{2p} \cdot \frac{\Delta z}{z} \sin 2\psi, \\ \pm \Delta\alpha &\approx \frac{1}{2p} \cdot \frac{\Delta z}{z} = \frac{1}{2p} \cdot \frac{\Delta U}{U} \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

При цьому найбільша похибка має місце для кутів $\psi_{\text{макс}} = \pm \frac{\pi}{4} + \pi k$ незалежно від числа кроків обмотки ротора.

Аналогічно визначається похибка при фазовому режимі роботи індуктосина.

Рівняння для струму на основі (1.3) має в такому випадку вигляд:

$$\dot{I}_{p,a} = \frac{\omega M U_c \sin \omega t (z_1 \cos p\alpha - j z_2 \sin p\alpha)}{z_1 z_2 z_3 + z_2^2 \omega^2 M^2 \sin^2 p\alpha + z_1 \omega^2 M^2 \cos^2 p\alpha} \quad (1.22)$$

Умовою відліку є

$$\operatorname{tg} \arg \dot{I}_{p,\phi} = \frac{z_2}{z_1} \operatorname{tg} p\alpha$$

або

$$\operatorname{tg} \arg \dot{I}_{p,\phi} = \frac{1}{\eta_z} \operatorname{tg} p\alpha$$

Похибка вимірювання кута відповідно до (1.15)

$$\Delta\alpha = \frac{(\eta_z - 1) \operatorname{tg} p\alpha}{p(\eta_z + \operatorname{tg}^2 p\alpha)} \quad (1.23)$$

При цьому максимальна похибка

$$\pm \Delta\alpha = \frac{\eta_z - 1}{2p\sqrt{\eta_z}} \approx \frac{1}{2p} \cdot \frac{\Delta z}{z} = \frac{1}{2p} \cdot \frac{\Delta U}{U} \quad (1.24)$$

має місце для кутів

$$\alpha_{\text{макс}} = \pm \frac{1}{p} (\arctg \sqrt{\eta_z} + \pi k)$$

При значеннях η_z , близьких до одиниці, похибка відліку складатиме

$$\alpha_{\text{макс}} = \frac{\eta_z - 1}{2p} \sin 2p\alpha \quad (1.25)$$

Порівняння виразів (16) – (22) показує, що похибка відліку кута за допомогою індуктосина, обумовлена нерівністю амплітуд магнітних полів обмоток статора, по-різному залежить від величини вимірюваного кута для амплітудного і фазового режимів його роботи, проте максимальні значення похибки однакові в обох режимах роботи приладу.

Різниця фаз магнітних полів обмоток статора індуктосина може з'явитися внаслідок відмінності фаз напруг, 30 живлять обмотки статора приладу, або нерівності аргументів повних опорів. Так як умова відліку кута для різних p симетрична відносно \dot{U}_{c1} ; \dot{U}_{c2} , z_1 і z_2 , то похибка, викликана відмінністю по фазі між напругою живлення, і похибка, що виникла через відмінності аргументів повних опорів обмоток статора, однакові і визначаються зрушенням по фазі θ . Обмежимося розглядом тільки похибки через розходження аргументів повних опорів обмоток статора.

Нехай

$$\frac{z_1}{z_2} = \cos\theta + j\sin\theta \quad (\theta \neq 0)$$

Для амплітудного режиму роботи приладу при різності аргументів повних опорів обмоток статора рівняння для струму в обмотці ротора на основі (1.3) можна записати у вигляді:

$$I_{p.a}^{\bullet} = \frac{j\omega MU_c \sin\omega t (\sin\psi \cos p\alpha \cos\theta - \cos\psi \sin p\alpha + j\sin\psi \cos p\alpha \sin\theta)}{z(z_3 + \Delta z_3)},$$

де Δz_3 – опір, що вноситься обмотками статора в обмотку ротора;

z – модуль опорів обмоток статора.

З огляду на те, що $I_{p.a}^{\bullet}$ являє собою комплексне число, яке не перетворюється на нуль ні при яких значеннях, умовою відліку слід прийняти $\left| I_{p.a}^{\bullet} \right|_0 = \left| I_{p.a}^{\bullet} \right|_{\min}$.

Розглянемо деяку величину A , пропорційну квадрату модуля $\left| I_{p.a}^{\bullet} \right|^2$.

$$\text{Умова мінімуму } \left| I_{p.a}^{\bullet} \right| \in \frac{\partial A}{\partial \alpha} = 0$$

або

$$\cos 2\psi \sin p\alpha_{\min} - \sin 2\psi \cos 2p\alpha_{\min} \cos\theta = 0$$

Таким чином, умова мінімуму $\left| \dot{I}_{p,a} \right|$ приймає вигляд:

$$\operatorname{tg} 2p\alpha_{\min} = \operatorname{tg} 2\psi \cos \theta = 0. \quad (1.26)$$

Похибка виміру кута

$$\Delta\alpha = \alpha_{\min} - \frac{\psi}{p}$$

або

$$\Delta\alpha = \frac{1}{2p} \operatorname{tg}(2p\Delta\alpha) = \frac{\operatorname{tg} 2\psi (\cos \theta - 1)}{2p(1 + \operatorname{tg}^2 2\psi \cos \theta)},$$

тобто похибка залежить від величини кута, що вимірюється.

Максимальна похибка

$$\pm \Delta\alpha_{\max} = \frac{\cos \psi - 1}{4p\sqrt{\cos \theta}}$$

і вона має місце при вимірі кутів

$$\psi_{\max} = \pm \frac{1}{2} \left(\operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{\cos \theta}} + \pi k \right).$$

Для малих значень θ похибка у вимірюванні кута і максимальна похибка відповідно складають:

$$\Delta\alpha = -\frac{\theta^2}{8p} \sin 4\psi, \quad \pm \Delta\alpha_{\max} = \frac{\theta^2}{8p}.$$

Похибка досягає максимуму при кутах

$$\psi_{\max} = \pm \frac{\pi}{8} + \frac{\pi k}{2}.$$

Похибки індуктосина, що пов'язані з технологією виготовлення вимірювача.

Друковані обмотки індуктосина, що представляють собою систему послідовно з'єднаних радіальних провідників, як правило, визначаються розміром розділяючих провідників рисок. Останні задаються шириною кутовий або лінійної, діаметрами кінців рисок, а також кутом, що визначає початкове (а іноді і кінцеве) положення відповідного провідника.

Бажання отримати за допомогою індуктосина перетворення високої точності вимагає жорстких допусків на всі розміри обмоток. Проте, зважаючи на багатополісність, точність виконання обмоток може бути набагато нижче точності перетворень.

Розглянемо групу, що складається з N провідників, розташованих на відстані $\tau/2 \cdot \nu \pm \delta_\nu$, від довільного початкового положення, де $\nu = 1, 2, 3, \dots, N$, а δ_ν – величина допуску. Якщо відхилення кожного провідника групи δ_ν від точного положення $\tau/2 \cdot \nu$, складеного ідеальними провідниками, підпорядковується закону нормального розподілу із середнім квадратичним відхиленням σ , то з імовірністю 0,67 значення суми відхилень δ_ν для групи реальних провідників складе σ/\sqrt{N} , оскільки цій величині дорівнює середня квадратична помилка середнього арифметичного з N випадкових величин, що підпорядковуються закону нормального розподілу. Отже, можна вважати, що за рахунок випадкових помилок група з N провідників виявляється зрушеною щодо свого точного положення на величину σ/\sqrt{N} з імовірністю 0,67. Зауважимо, що секціонування провідників не чинить на результат ніякого впливу.

Розглядаючи групу з p провідників, що складають фазу статора, на підставі попереднього, можна стверджувати, що враховуючи випадкові помилки в розташуванні провідників обох обмоток з імовірністю 0,67 фаза статора буде зміщена щодо провідників ротора на величину $\sqrt{2} \cdot \sigma / \sqrt{p}$ проти розрахункової. На таку ж величину може бути зміщена і друга фаза, це призводить до еквівалентної похибки квадратурного зсуву між фазами на $2\sigma / \sqrt{p}$.

Можна показати, що максимальна похибка індуктосина в цьому випадку дорівнює похибці у виконанні квадратурного зсуву між фазами, тобто $\pm \Delta\alpha_{\max} = \frac{2}{\sqrt{p}}$, де σ – середня квадратична похибка нанесення провідників (рисок).

Зазвичай замість середньої квадратичної похибки задається допуск на кутові розміри провідників. При цьому під $\Delta\alpha_{\max}$ мається на увазі гранична похибка з імовірністю 0,997 (довірчий інтервал дорівнює 3σ). Практично досить розраховувати максимальну похибку з імовірністю 0,95 (довірчий інтервал 2σ), тоді отримана формула прийме наступний вигляд:

$$\pm \Delta\alpha_{\max} = \frac{2}{\sqrt{p}}, \quad (1.27)$$

де δ допуск на кутовий розмір провідника.

З виразу (1.27) видно, що для обмеження максимальної похибки до 1», що виникає від неточного розташування провідників у індуктосина з числом пар полюсів $p = 128$, слід встановити допуск $\delta = \pm 10$ ».

Вище не враховувалося те, що геометрія обмоток підпорядкована одній з умов, що забезпечують придушення гармонік поля. Покажемо, що обмотки, виконані з допуском на кутові розміри провідників, отриманим на підставі (1.27), що не порушує цієї умови. Нехай кожна фаза обмотки індуктосина виконана з двох груп провідників, зсунутих один відносно одного на величину $\tau/6$ для придушення третьої гармоніки. Якщо припустити, що всі $p/2$ провідника зсунутих груп кожної фази виявилися зміщеними на величину допуску δ в одну сторону (що практично неможливо), то третя гармоніка поля, що з'явилася в напрузі ротора, при вельми тонких ризиках матиме амплітуду $\dot{U}_3 \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3^4} \dot{U} \sin 3p\delta$, а викликана цієї гармонікою максимальна помилка на підставі (1.27) при $p = 128$ і $\delta = 10$ » складе приблизно 0,1». Отримана цифра більш ніж на порядок перевищує дійсну як за рахунок випадкового розподілу помилок в нанесенні рисок, так і за рахунок достатньої ширини рисок, що забезпечує більш швидке придушення гармонік, ніж прийняте $1/s^4$. Таким чином, наявність гармонік не вносить помітних змін в розрахунок похибки індуктосина за формулою (1.27), отриманої для першої гармоніки.

Допуск на діаметри, що обмежують кінці рисок, не критичний. Необхідно витримувати в певних межах еліпсність. Для обмоток з числом секцій на фазу, що дорівнює чотирьом, допуск на еліпсність в межах $0,02 + 0,03$ мм виявляється достатнім.

Розглянемо конструкцію *лінійного індуктосина*.

Лінійний індуктосин побудований із двох частин, які пов'язані між собою магнітним полем (Рисунок 1.9).

Одна частина лінійного індуктосину – це масштабна лінійка, яку жорстко закріплюють до однієї із осей механізму, наприклад, до станини.

Друга частина – це голівка, яка рухається уздовж лінійки та зв'язана з рухомою частиною верстату.

Масштабну лінійку виготовляють із сталі та покривають ізолюючим шаром. Друкований провідник у формі довгої прямокутної гребінки приклеюють до ізолюючого шару.

Голівка, яка має довжину приблизно 100 мм, також має два друковані провідники, які приклеюють до тієї його поверхні, яка обернена до масштабної лінійки. Ці два провідники мають таку ж саму гребінчасту форму і той самий крок, як і на масштабній лінійці, але мають зсув один відносно одного на чверть періоду.

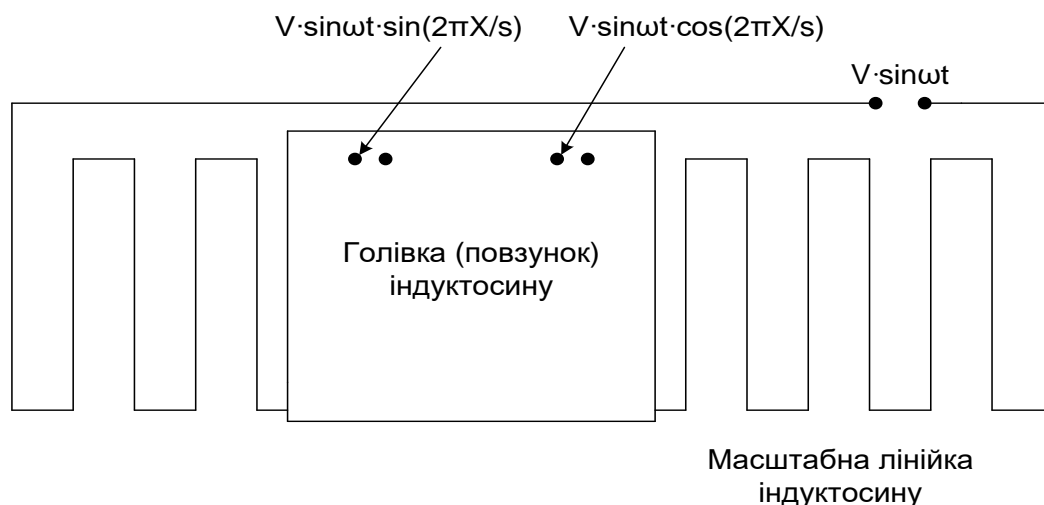


Рисунок 1.9 – Лінійний індуктосин

Масштабну лінійку відділяє від повзунка повітряний зазор у 50 мкм.

Якщо на масштабну лінійку індуктосину подати напругу синусоїдальної форми, то ця напруга з'явиться на обох обмотках голівки і буде пропорційною до синуса та косинуса зміщення голівки відносно одного зубця масштабної лінійки.

Якщо s – відстань між зубцями, а X – зміщення голівки відносно зубця, а масштабну лінійку живить напруга $V \cdot \sin \omega t$, то на обмотках голівки з'явиться напруга V , яку можна обчислити за формулами (6) та (7).

$$V(\text{синусний вихід}) = V \cdot \sin \omega t \cdot \sin(2\pi X/s); \quad (1.28)$$

$$V(\text{косинусний вихід}) = V \cdot \sin \omega t \cdot \cos(2\pi X/s); \quad (1.29)$$

де ω – кругова частота сигналу живлення індуктосину.

З рухом голівки між сусідніми зубцями масштабної лінійки, напруги на обох обмотках голівки змінюються подібно СКТО при повороті його на 360 градусів.

Абсолютне положення індуктосину визначають рахуванням послідовних зубців у будь-якому напрямі від вказаної стартової точки.

На рисунку 1.10 показано форму провідників на поверхні лінійки та голівки індуктосину.

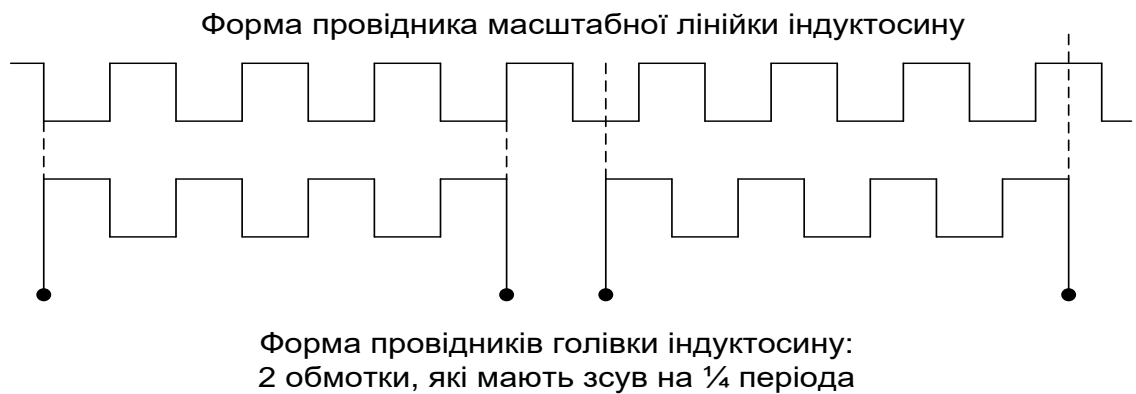


Рисунок 1.10 – Форма провідників лінійного індуктосину

Звичайна довжина лінійки індуктосину – 250 мм із 125 витками обмотки у формі меандру. Крок обмотки дорівнює 2 мм.

Голівка має довжину 100 мм із двома обмотками по 24 витка у кожній.

Лінійки можна закріплювати послідовно і тоді база вимірювання може зростати. Наприклад, з'єднавши послідовно чотири лінійки, можна отримати діапазон переміщення голівки відносно лінійки до $\pm 0,5$ м [6].

Висновок. Лінійний індуктосин часто розглядають як похідний прилад від поворотного індуктосину, в якому обмотки просто витягнуто в пряму лінію. Роль статора тут виконує вимірювальна голівка, а роль ротора – лінійка. Тому всі наведені основні параметри і характеристики є актуальними для індуктосинів обох типів – як поворотного, так і лінійного.

1.3. Практичне застосування індуктосинів

Індуктосинну систему вимірювання переміщень було застосовано при заміні оптико-електронної системи Heidenhain (Німеччина), яка вийшла з ладу, на вітчизняний вимірювач типу Ф5291 (Київ, завод Точелектроприлад) верстату Mikromat 9B на ВАТ «Меридіан» (Київ).

Координатно-розточувальний верстат Mikromat 9B (Німеччина) призначений для виконання обробки заготовок великого розміру із високою точністю. Верстат зображений на рисунку 12.



Рисунок 11.11 – Верстат Mikromat 9B

Верстат Mikromat 9B виконує обробку за жорстко заданою на пульті програмою, яку заносить оператор вручну. Тобто верстат може працювати у півавтоматичному режимі. Переключення режимів роботи під час виконання програми відбувається електроавтоматикою верстату. Коло зворотного зв'язку для приводів по кожній із координат замикає вимірювальна система лінійних переміщень.

З'ясуємо, до якого типу слід віднести систему ЧПУ верстату Mikromat 9B.

Системи числового програмного управління (ЧПУ) – це системи автоматичного управління рухом робочої машини або її окремого виконуючого органу відповідно до заданої управляючої програми.

У відповідності до міжнародної класифікації ЧПУ за рівнем технічних можливостей розділяють на такі класи:

- NC (Numerical Control) – з покроковим читанням програми при обробці кожної заготовки;

- SNC (Stored Numerical Control) – з одноразовим читанням програми перед обробкою партії однакових заготовок;
- CNC (Computer Numerical Control) – з комп'ютерним (мікропроцесорним) управлінням;
- DNC (Direct Numerical Control) – управління групою верстатів (машин) від одного комп'ютера;
- HNC (Handled Numerical Control) – з ручним набором програм на пульті управління.

За призначенням ЧПУ поділяють на циклові, позиційні контурні та адаптивні.

Циклові ЧПУ, або системи із цикловим програмним управлінням, здійснюють управління одним або кількома виконуючими органами робочої машини (ВОРМ) або групи машин.

При цьому вони забезпечують необхідний технологічний цикл, тобто послідовно повторювану серію дій окремих ВОРМ однієї або кількох машин.

Послідовність дій визначає управляюча програма, яку задають звичайно у вигляді простих дискретних команд на вмикання або вимикання електричних приводів (ЕП), які і приводять у рух ВОРМ. Системи із цикловим програмним управлінням виконують розімкненими (без зворотного зв'язку), а наявність датчиків положення, які фіксують початкові та кінцеві положення виконуючих органів і надають команди на вмикання або вимикання ЕП, можна розглядати як присутність квазі-зворотного зв'язку.

Управляючі програми у системах із цикловим програмним управлінням виконують у вигляді жорсткої незмінної або змінної програми.

Жорстку незмінну управляючу програму задають у вигляді певної схеми електроавтоматики. При цьому вмикання та вимикання управляючих елементів виконується за часом (використовують реле часу) або за технологічною готовністю ВОРМ (виконуються певні логічні умови, які задає комбінація станів датчиків положення та інших датчиків, наприклад, тиску або температури).

Таким чином, з урахуванням розглянутих теоретичних відомостей, систему ЧПУ верстату Mikromat 9B слід віднести до типу NC з жорстко незмінним виконанням програми.

Починаючи з 1997 року, верстати Mikromat 9B комплектують системою ЧПУ типу CNC фірми HEIDENHAIN.

Верстат Mikromat 9B має три незалежні одна від одної системи вимірювання лінійних переміщень по координатах X, Y, Z.

Координати X та Y відповідають за переміщення столу у горизонтальній площині.

Шпиндель разом із закріпленим інструментом рухається вертикально по координаті Z.

Пульти управління та індикації вимірювальної системи показані на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Пульти управління та індикації вимірювальної системи верстату Mikromat 9B

Хід столу верстату Mikromat 9B по осях X, Y складає 710 мм. Хід шпинделя – 315 мм. При точності вимірювання 1 мікрон при такому діапазоні переміщень вимірювальна система має бути складною та коштовною.

Верстат укомплектований трьома оптичними вимірювальними системами типу IAL200 фірми Карл Цейс (Німеччина). Пристрої управління та індикації мають тип IPA-200.

Взаємодія вимірювальної системи лінійних переміщень верстату Mikromat 9B із приводами подач показано на структурній схемі додатку А.

В результаті модернізації верстату, проведеної 2005 року на ВАТ «Меридіан», по осі Z була встановлена вимірювальна система типу Ф5291, яка укомплектована лінійним індуктосином.

Пристрій Ф5291 застосовують як спеціалізований комплектуючий блок у складі інформаційно-вимірювальних систем, металообробних верстатів та інших машин при вимірюванні та контролі механічних лінійних переміщень [7].

Пристрій Ф5291 працює разом із перетворювачем вимірювальних лінійних переміщень типу ПИЛП1-А2.

Перетворювач ПИЛП1-А2 – це лінійний індуктосин, до складу якого входять:

- вимірювальна масштабна лінійка;
- вимірювальна голівка.

Пристрій цифрової індикації Ф5291 (Рисунок 1.13) забезпечує ручне та дистанційне введення довільного значення початкового відліку в діапазоні від мінус 9999999 до плюс 9999999 у будь-якій точці переміщення та наступний відлік від цього значення [7].



Рисунок 1.13 – Пристрій цифрової індикації Ф5291

Пристрій Ф5291 забезпечує індикацію коми у другому, третьому або четвертому молодшому розряді цифрового табло.

Пристрій Ф5291 забезпечує видачу релейної команди управління тривалістю не менше 0,1 с при нульовому відліку на індикаторному табло. Допустимий струм комутації не повинен перевищувати 100 мА при напрузі не більше 30 В.

Пристрій Ф5291 забезпечує видачу контрольних сигналів про переміщення у послідовно-паралельному двійково-десятковому коді 8-4-2-1 із логічними сигналами ТТЛ – рівнів.

Найбільша швидкість переміщень, які контролює пристрій Ф5291, - 15м/хв.

Точність відліку виміряних переміщень складає 10 мкм або 1 мкм. Точність відліку задають конфігуратором.

Висновки.

В першому розділі розглянуто принцип дії, конструкцію та параметри і характеристики індуктосинів. Проаналізовано математичну модель індуктосину. Поворотний і лінійний індуктосин розглянуто як аналогічні один до одного пристрої. Надано аналіз джерел і величини похибок індуктосину. Наведено приклад практичного застосування індуктосинів у системах числового програмного управління металообробних верстатів підвищеної точності.

РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ СХЕМИ ЛІНІЙНОГО ІНДУКТОСИНУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НОВОЇ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ

2.1. Схема електрична структурна вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291

Схема електрична структурна вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291 наведена на рисунку 2.1.

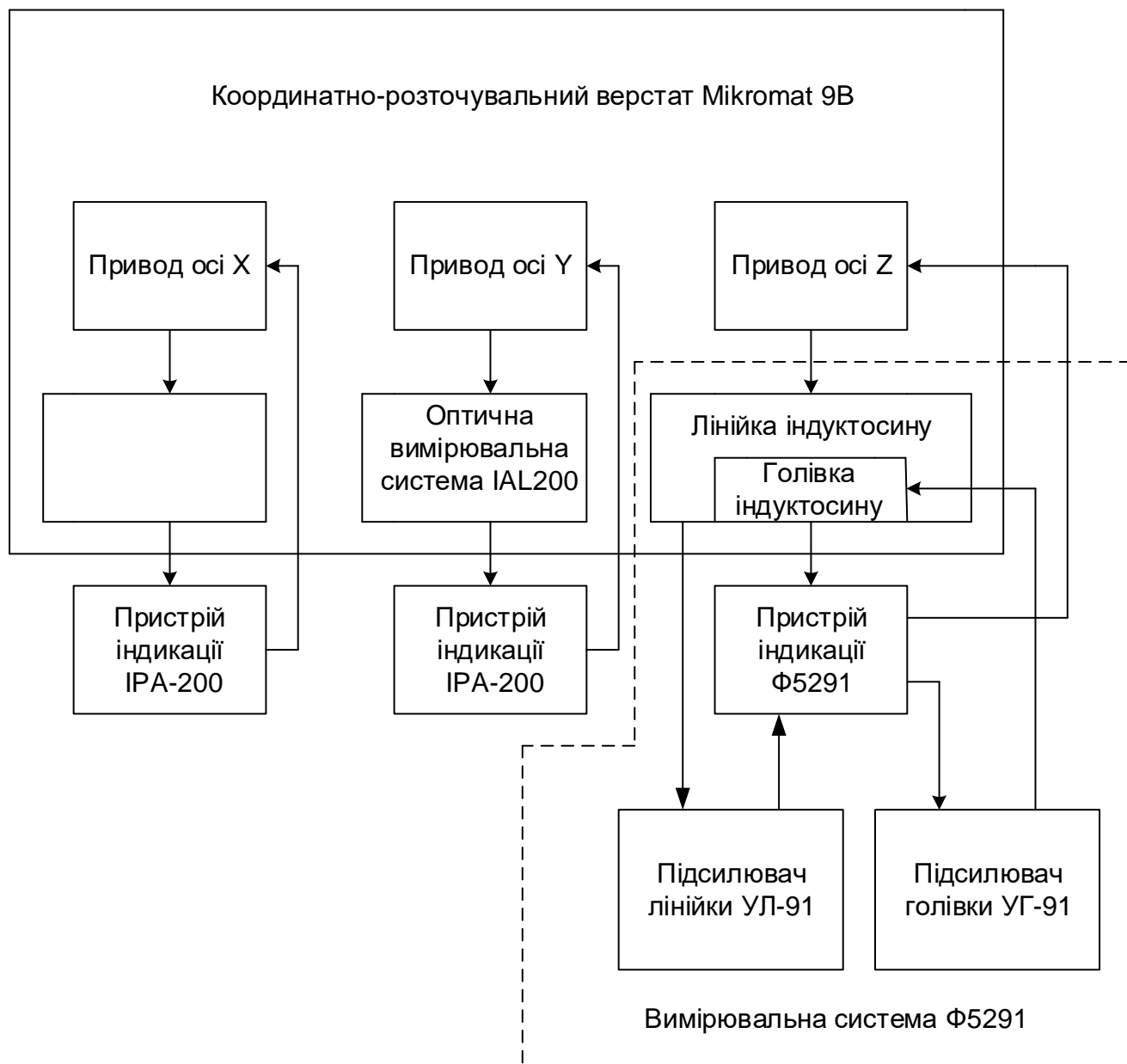


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291

Пристрій цифрової індикації Ф5291 призначений для обробки електричних сигналів від первинних вимірювальних перетворювачів [7].

Пристрій Ф5291 застосовують як спеціалізований комплектуючий блок у складі інформаційно-вимірювальних систем, металообробних верстатів та інших машин при вимірюванні та контролі механічних лінійних переміщень.

Пристрій Ф5291 працює разом із перетворювачем вимірювальних лінійних переміщень типу ПИЛП1-А2.

Перетворювач ПИЛП1-А2 – це лінійний індуктосин, до складу якого входять:

- вимірювальна масштабна лінійка;
- вимірювальна голівка.

Можлива заміна індуктосину ПИЛП1-А2 на аналог у складі:

- лінійки ЛППИ-Н;
- голівки ГПЛИ.

Пристрій Ф5291 (Рисунок 2.2) забезпечує ручне та дистанційне введення довільного значення початкового відліку в діапазоні від мінус 9999999 до плюс 9999999 у будь-якій точці переміщення та наступний відлік від цього значення.



Рисунок 2.2 – Пристрій Ф5291

Пристрій Ф5291 забезпечує індикацію коми у другому, третьому або четвертому молодшому розряді цифрового табло.

Пристрій Ф5291 забезпечує видачу релейної команди управління тривалістю не менше 0,1 с при нульовому відліку на індикаторному табло. Допустимий струм комутації не повинен перевищувати 100 мА при напрузі не більше 30 В.

Пристрій Ф5291 забезпечує видачу контрольних сигналів про переміщення у послідовно-паралельному двійково-десятковому коді 8-4-2-1 із логічними сигналами ТТЛ – рівнів.

Найбільша швидкість переміщень, які контролює пристрій Ф5291, - 15м/хв.

Точність відліку вимірюваних переміщень складає 10 мкм або 1 мкм. Точність відліку задають конфігуратором.

Схема електрична структурна вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291 показана у Додатку А.

Основні блоки та вузли схеми:

- вимірювач И90;
- лічильник С90;
- плата індикації;
- плата перемикачів;
- блок живлення БП90;
- підсилювач лінійки УЛ91;
- підсилювач голівки УГ91;
- вимірювальна лінійка ЛППИ-Н-4;
- вимірювальна голівка ГПЛИ-Н-А.

Перші шість блоків конструктивно входять до пристрою Ф5291. Підсилювачі лінійки та голівки виконані як окремі блоки і з'єднані кабелями із пристроєм Ф5291 та індуктосином.

Вузли вимірювальної лінійки та вимірювальної голівки входять до складу блоку лінійного індуктосину.

Особливістю вимірювальної системи на основі пристрою Ф5291 є використання в якості датчика входних сигналів лінійки. Збуджують лінійний індуктосин сигнали у формі синуса та косинуса, які подають на обмотки вимірювальної голівки. В класичній схемі лінійного індуктосину навпаки, збуджують обмотку лінійки а сигнали знімають з обмоток голівки.

Вимірювальні лінійка та голівка наведена на рисунку 2.3.

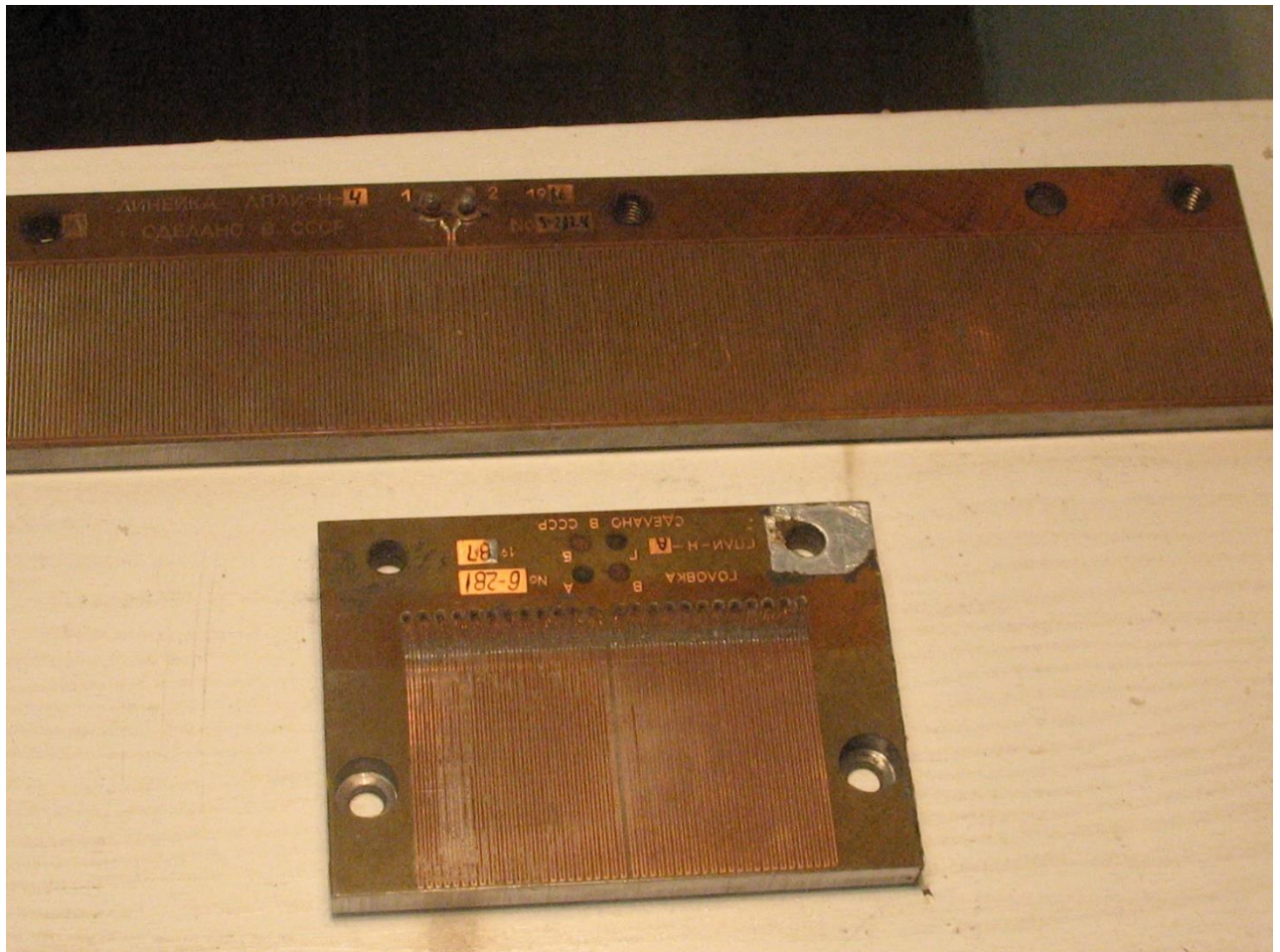


Рисунок 2.3 – Вимірювальна лінійка (вгорі) та голівка

Вимірювальна голівка розташована на відстані 30-50 мкм від поверхні лінійки. Дистанцію між вузлами перевіряють за допомогою затискання між ними аркушу газетного паперу, товщина якого складає 35 мкм.

Стендові випробування пристрою Ф5291 дозволяють в лабораторних умовах дослідити, виявити несправності, здійснити попереднє налагодження системи вимірювання переміщень на основі лінійного індуктосину і передують налагоджувальним операціям на верстаті із ЧПУ (рисунок 2.4).

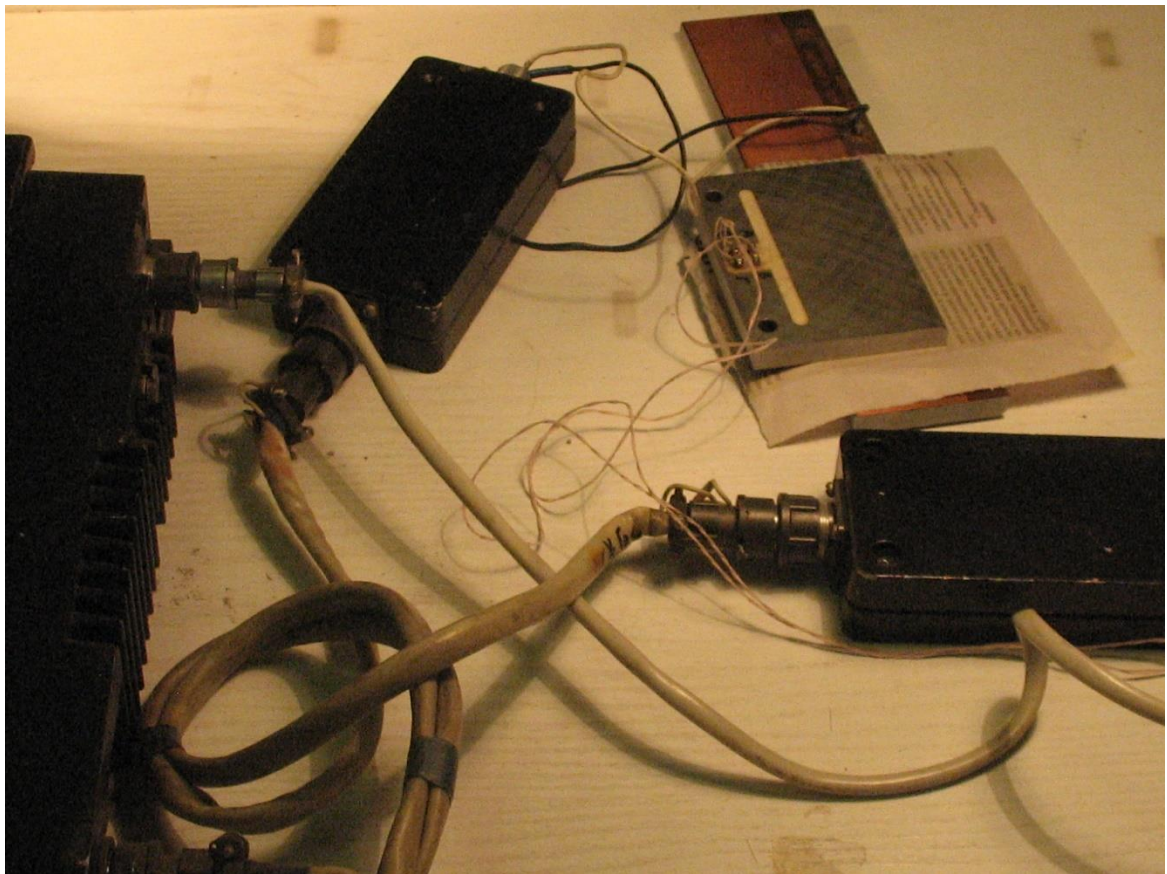


Рисунок 2.4 – Стендове випробування лінійного індуктосину: між голівкою та лінійкою затиснено папір

Пристрій Ф5291 має дві великі плати: плату лічильників (рисунок 2.5) та плату індикації (рисунок 2.6).

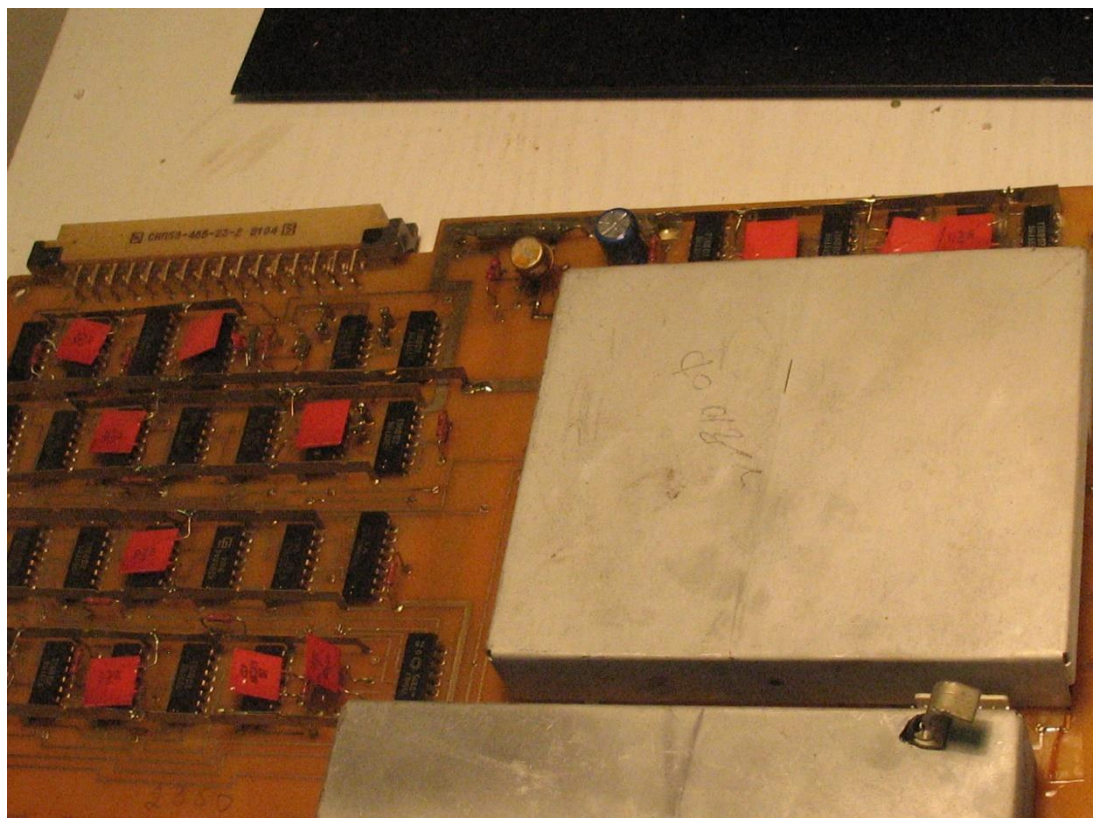


Рисунок 2.5 – Плата лічильників пристрою Ф5291

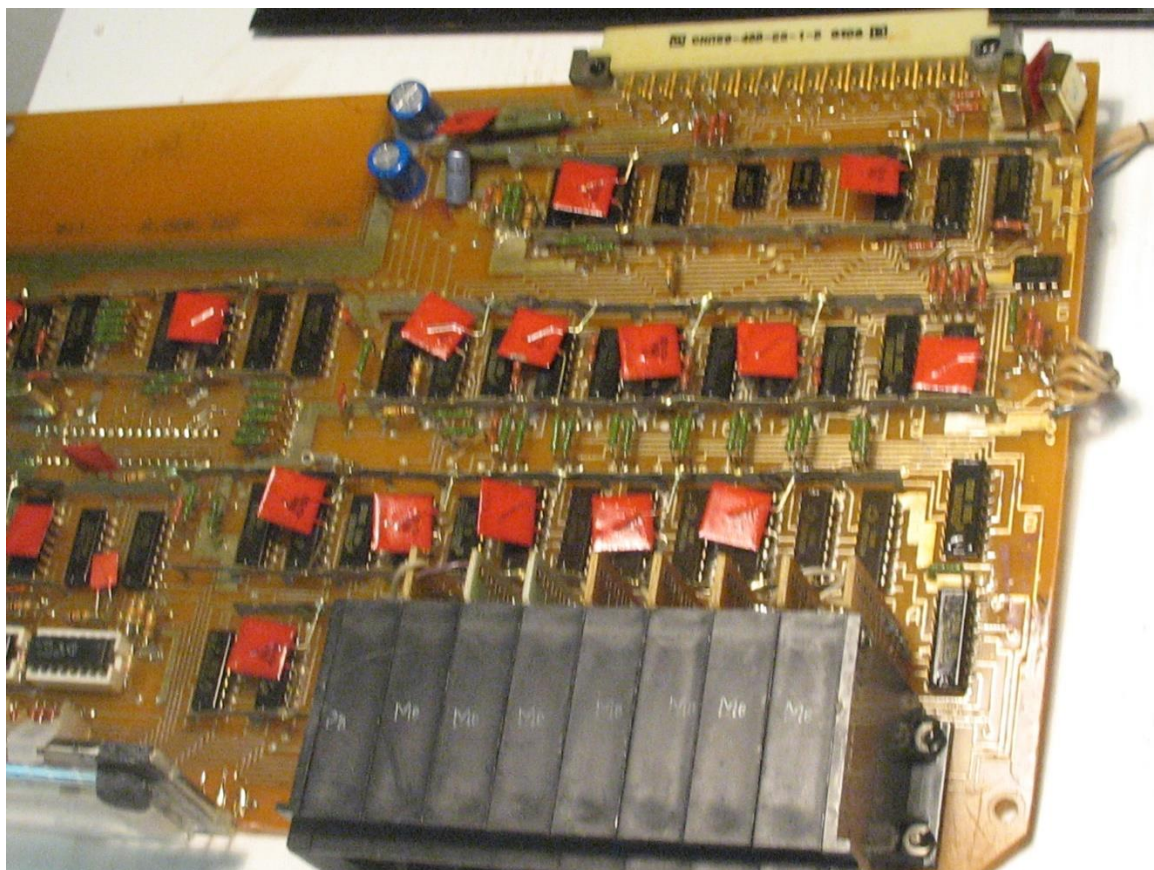


Рисунок 2.6 – Плата індикації пристрою Ф5291

Як можна побачити з рисунків 1.18-1.19, елементна база пристрою Ф5291 є застарілою, проте критичним до впливу шумів (зовнішніх і власних) є модулі підсилювачів лінійки та голівки, тому модернізацію плат лічильників та індикації слід віднести до наступного етапу модернізації і вдосконалення системи вимірювання координат.

2.2. Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної голівки індуктосину

Схема підсилювача вимірювальної голівки (рисунок 2.7) має два канали для підсилення двох сигналів: синусоїди та косинусоїди. Різниця фаз між цими сигналами, що мають однакову форму, повинна з великою точністю дорівнювати 90° . Підсилювач живить дві обмотки вимірювальної голівки, які позначені на схемі літерами А-Б та В-Г [8],[9].

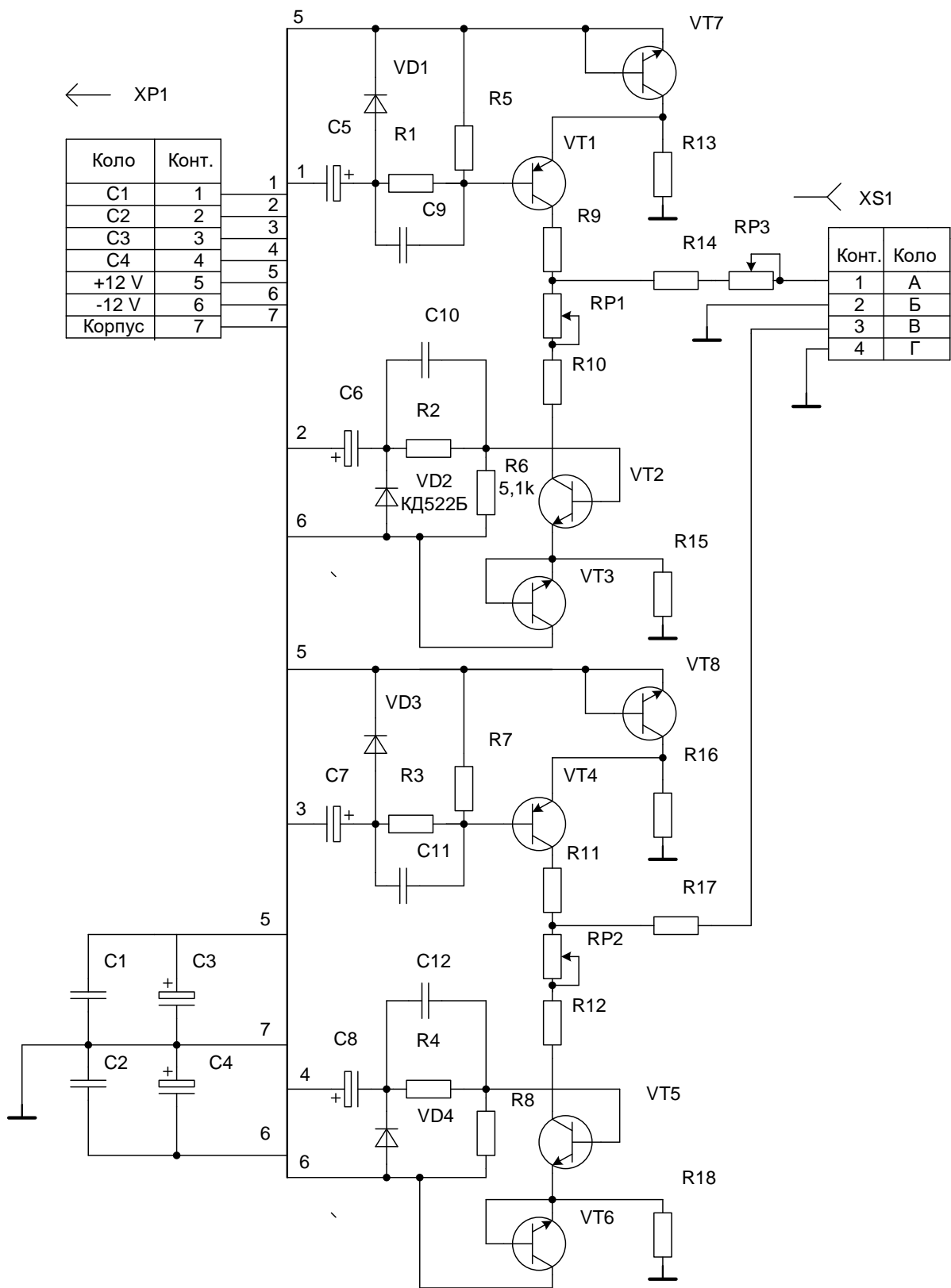


Рисунок 2.7 – Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної голівки індуктосину

Сигнали обох каналів повинні мати на виході однакову амплітуду. Для врівноваження амплітуд двох каналів призначено перемінний резистор RP3.

Підсилювачі сигналів працюють за двохтактною схемою. Перший півперіод сигналів підсилюють транзистори верхнього плеча – VT1 та VT4. Другий півперіод сигналів підсилюють транзистори нижнього плеча – VT2 та VT5.

Щоб вирівняти амплітуду сигналів у плечах використовують перемінні резистори RP1, RP2.

Для стабілізації колекторного струму потужних транзисторів до схеми додано транзистори VT3, VT6, VT7, VT8, які мають діодне включення [10].

Із вхідними колами підсилювач відокремлений розділовими ємностями C5, C6, C7 та C8.

Діоди VD1 – VD4 призначені для фільтрації сигналів небажаної полярності.

Вхідний фільтр у колі живлення на конденсаторах C1 – C4 запобігає впливу завад на каскади підсилення через кола живлення.

Живлення схеми є двохполярним: плюс 12 В та мінус 12 В.

В ході проведених досліджень були отримані осцилограми сигналів підсилювача голівки в характерних точках схеми (рисунок 2.8).

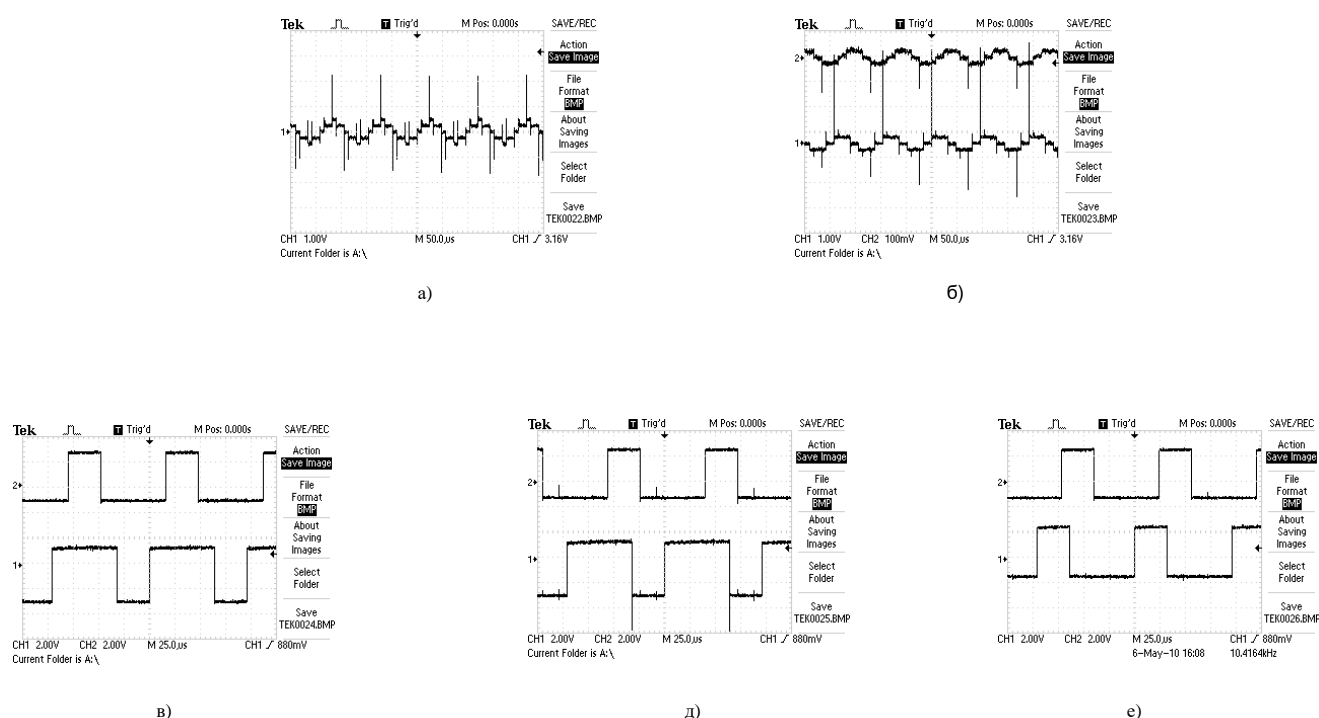


Рисунок 2.8 – Осцилограми сигналів в характерних точках схеми підсилювача вимірювальної голівки індуктосину

Часові діаграми сигналів були отримані за результатами осцилографічних досліджень на реально діючій вимірювальній системі під час її випробувань.

Часові діаграми сигналів отримали за допомогою цифрового двоканального осцилографа типу TDS1002 компанії Tektronix.

На осцилограмі а) рисунку 2.8 наведено вихідний сигнал підсилювача обмотки АБ вимірювальної голівки.

На осцилограмі б) наведено вихідний сигнал підсилювача обмотки ВГ вимірювальної голівки.

На осцилограмі в) наведено вхідний сигнал на контактах С1 та С2 вхідного роз'єднувача.

На осцилограмі д) наведено вхідний сигнал на контактах С1 та С3 вхідного роз'єднувача.

На осцилограмі е) наведено вхідний сигнал на контактах С1 та С4 вхідного роз'єднувача.

Сигнали а) та б) забруднені власними шумами і завадами, особливо це стосується осцилограми а).

Рівень шуму складає приблизно 25% від рівня сигналу. Це є прийнятна величина для подібних схем підсилювачів. Проте в ході експлуатації цей фактор погіршується (зростає до 90%). Відповідно понижується відношення сигнал/шум з 4 до 1,1, що явно недостатньо для функціонування системи вимірювання координат або переміщень.

Базову схему, якою є схема підсилювача голівки, було вдосконалено в модулі підсилювача вимірювальної лінійки.

2.3. Вдосконалення схеми електричної принципової підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину

В схемі підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину були вдосконалені вузли каскадів підсилення. В базовій схемі вони були побудовані на біполярних транзисторах, таких як і в схемі вимірювальної голівки. Заміна застарілої елементної бази було здійснено відповідно до вимог коефіцієнту підсилення та рівня шумів.

Для вдосконаленої схеми було обрано операційний підсилювач загального призначення типу TL081. Схема електрична принципова підсилювача лінійки індуктосину наведена на рисунку 2.9.

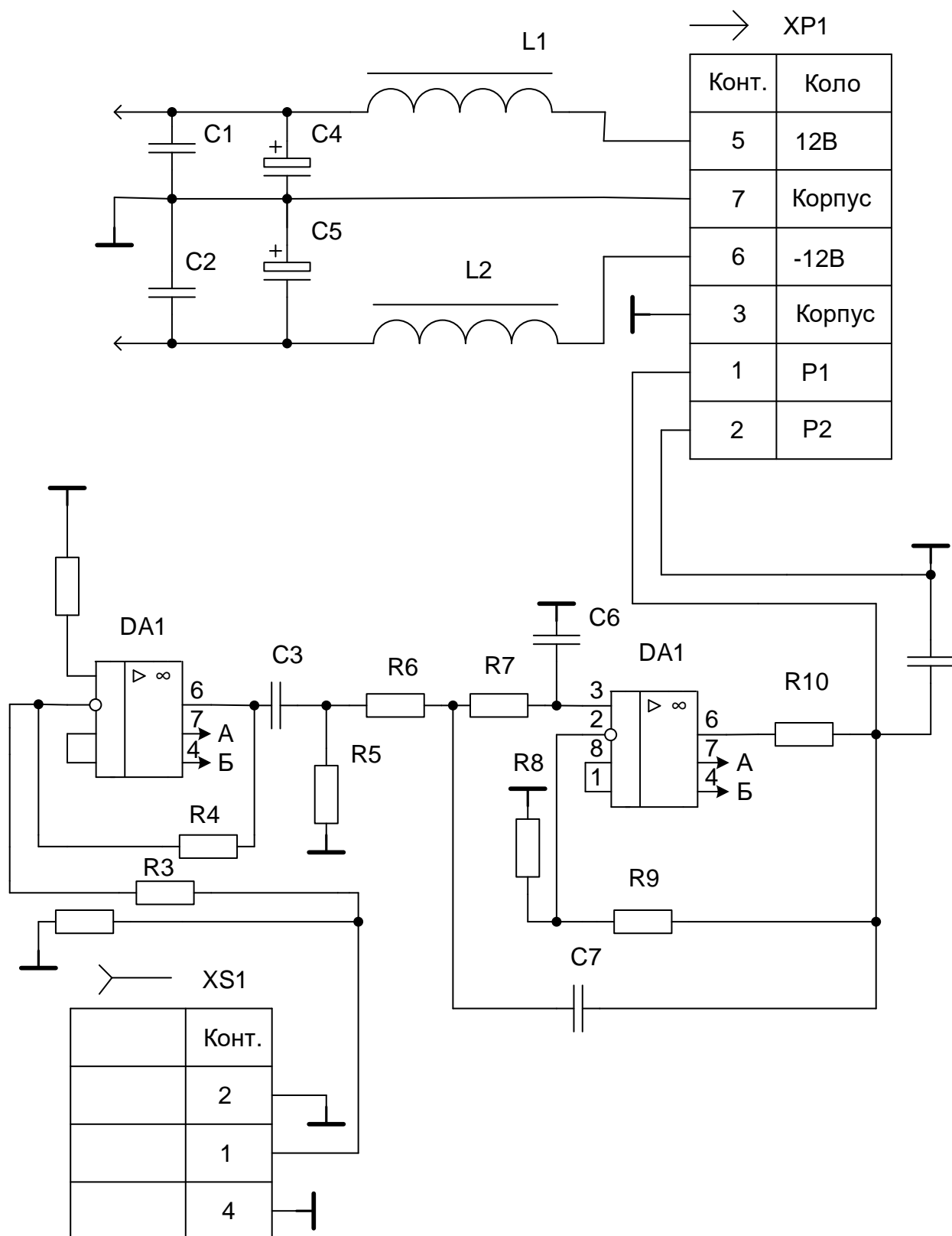


Рисунок 2.9 – Схема електрична принципова підсилювача лінійки індуктосину

Схема побудована на двох послідовно з'єднаних каскадах підсилення, які виконані на операційних підсилювачах широкого застосування типу TL081 (аналог 140УД8). Схема не має елементів корекції. Живлення – двополярне, від джерела ± 12 В.

Перший каскад побудований за схемою інвертувального підсилювача, коефіцієнт підсилення якого $K_1 = 100k/2k = 50$.

Другий каскад побудований за схемою неінвертувального підсилювача. Коефіцієнт підсилення у нього дорівнює: $K_2 = 1 + (301 + 3010)/2 = 2,66$.

У колі другого каскаду присутній конденсатор С7, який разом із резисторами R6, R7 утворює Т-образний фільтр.

Конструктивно підсилювач вимірювальної лінійки індуктосину виконано у вигляді окремого модуля і розміщено у металевому корпусі, який кріплять безпосередньо на нерухомій частині верстату.

Вимірювальна лінійка індуктосину закріплена в іншій частині верстату і також є нерухомою. Голівка індуктосину, навпаки, рухається разом із бабкою верстату.

З'єднання модуля підсилювача вимірювальної лінійки із лінійкою та пристроєм цифрової індикації Ф5291 виконують гнучкими кабелями. Сигнальні дроти кабелів виконані по типу виті пари, що забезпечує захист від наведення завад. Металевий корпус підсилювача екранує плату модуля і також захищає її від наведення завад [8].

Часові діаграми сигналів були отримані експериментально осцилографом типу TDS1002 під час випробування підсилювача у складі робочої системи вимірювання лінійних переміщень на основі пристрою цифрової індикації Ф5291. При цьому відбувалось реальне вимірювання величини переміщення голівки індуктосину відносно вимірювальної лінійки. Зазор між голівкою та лінійкою складав при цьому приблизно 35 мкм.

Сигнали, які надходять до входу підсилювача від вимірювальної лінійки індуктосину мають форму коротких (до 0,3 мкс) двохполярних імпульсів з амплітудою до 200 мВ (рисунок 2.10). Знімають сигнал з виводу 2 ІМС DA1.

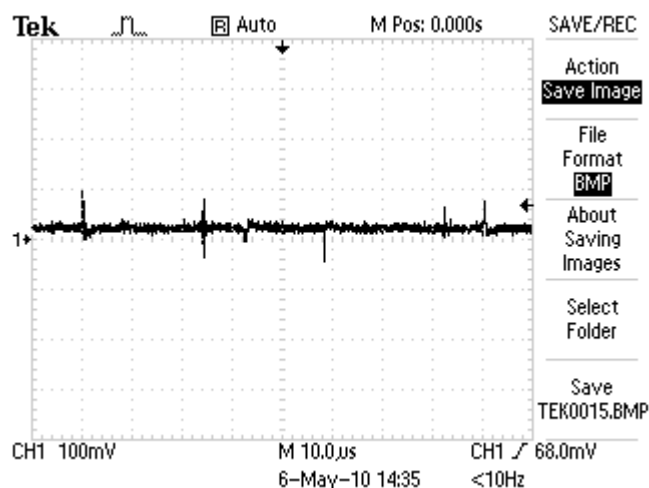


Рисунок 2.10 – Вхідний сигнал на виводі 2 ІМС DA1

На виході 6 ІМС DA1 маємо підсилені та дещо розтягнуті (ефект інтегрування) імпульси із амплітудою до 0,75 В та частотою 10 416 Гц (рисунок 2.11).

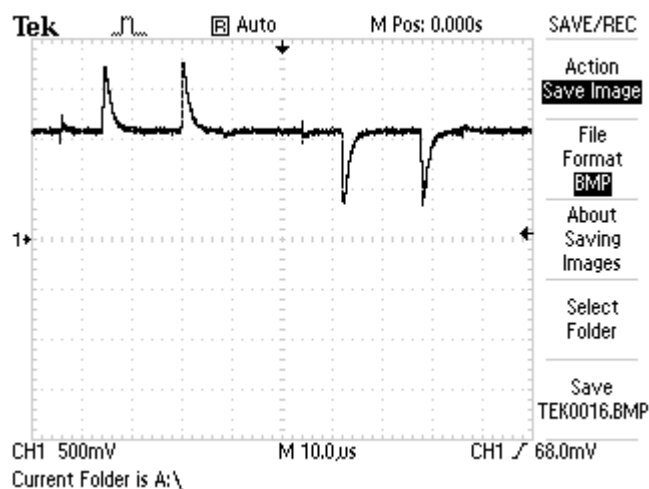


Рисунок 2.11 – Сигнал на виході 6 ІМС DA1

Точні вимірювання амплітуди сигналів, знятих на вході та виході ІМС DA1, дозволили точно виміряти коефіцієнт підсилення каскаду, побудованого на операційному підсилювачі DA1. Експериментально отриманий коефіцієнт підсилення дорівнює 10,5.

За імпульсами, які підсилює перший каскад, другий каскад підсилювача генерує (відновлює) синусоїду, амплітуда якої буде пропорційна до величини переміщення голівки відносно вимірювальної лінійки. Сигнал на виводі 3 ІМС DA2 показано на рисунку 18.

Амплітуда сигналу, який показано на рисунку 18, дорівнює приблизно 160 мВ. Частота сигналу дорівнює 10 416 Гц.

Каскад, побудований на ІМС DA2, окрім формування синусоїди, ще і підсилює її приблизно у 2,5 рази. Вихідний сигнал цього каскаду отримуємо на виводі 6 ІМС DA2 (Рисунок 19).

Амплітуда сигналів синусоїди на вході та виході мікросхеми DA2 (рисунки 2.12 та 2.13) залежить від величини переміщення голівки індуктосину відносно вимірювальної лінійки і знаходиться в межах 50-500 мВ.

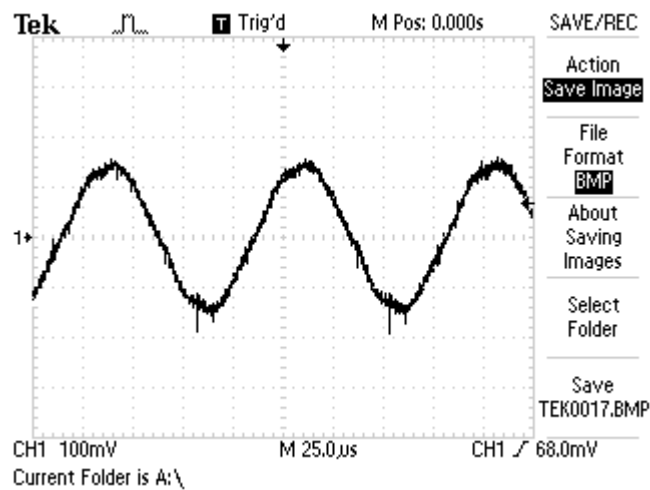


Рисунок 2.12 – Відновлена синусоїда на виводі 3 ІМС DA2

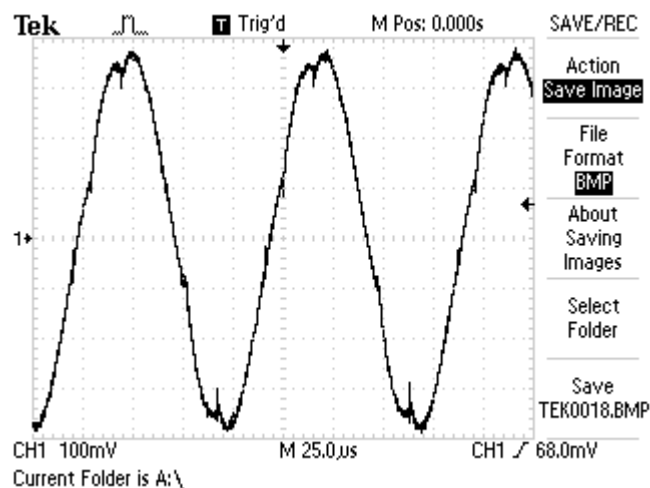


Рисунок 2.13 Сигнал синусоїди після підсилення на виводі 6 ІМС DA2

Залежність амплітуди синусоїди від переміщення голівки індуктосину відносно вимірювальної лінійки має лінійний характер. Це можна простежити за осцилограмами сигналу з виходу підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину для різних значень координати переміщення (характерна точка – вивід 6 ІМС DA2).

Висновки.

В результаті проведеного вдосконалення системи вимірювання координат на основі пристрою Ф5291 за рахунок заміни застарілої транзистрної елементної бази із незадовільним рівнем власних шумів в підсилювачі вимірювальної лінійки індуктосину на операційні підсилювачі призвело до покращення відношення сигнал/шум на 50%. Вдосконалення схеми підсилювача дозволило відновити функціональні можливості верстату Mikromat 9B і продовжити термін його експлуатації.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ВЛАСНИХ ШУМІВ ЛІНІЙНОГО ІНДУКТОСИНУ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НОВОЇ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ»

3.1 Опис ідеї проекту

Виявлення шумів в роботі лінійних індуктосинів, їх візуалізація різними методами та засобами, вимірювання їх параметрів та оцінювання їх впливу на експлуатаційні параметри і характеристики складають проблематику наукових досліджень.

Вимірювання геометричних розмірів зон відбувається за результатами їх візуалізації методом математичного моделювання.

Відповідно до схеми електричної принципової та визначення функціональних вимог від елементів, можна виконати вибір елементної бази.

Використання більш нової елементної бази реалізується на принципах нових фізичних та технологічних принципах (наприклад, перехід від дискретних елементів на інтегральні схеми). Зміна структури системи з метою підвищення надійності передбачає два аспекти. З одного боку, це означає перебудову конструктивної чи функціональної схеми (структури зв'язків між складовими елементами), зміна принципів функціонування окремих частин системи. Такого роду перетворення можливі виключно рідко, так що цей прийом не вирішує проблеми надійності. З іншого боку, зміна структури розуміється як введення додаткових, надлишкових елементів, що включаються в роботу при відмові основних. Результатом освоєння інвестицій на стадії "раннього зростання" має стати розуміння споживчих очікувань як з якісною, так і з кількісною струми зору. По закінченні стадії проект може переходити до фази бізнес-планування, обговорення питань промислового тиражування.

Таким чином, вимірювання розмірів зон лінійного індуктосину застосуванням математичного моделювання, може мати економічні перспективи у випадку подальших досліджень.

Тому нами була розроблена програма, для вимірювання розмірів зон лінійного індуктосину застосуванням математичного моделювання.

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначити чи наш продукт має шанси вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце.

Такий процес гарантує максимальну прозорість, надійність та швидкість в отриманні та аналізі результатів.

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту який має на меті визначити чи наш продукт має шанси вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце.

У таблиці 3.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів. Абсолютна величина економічного ефекту без співставлення його з витратами підприємства не дозволяє однозначно оцінити, наскільки вдалим виявився відповідний іноваційний проект. Таку оцінку дають показники економічної ефективності (прибутковості) проекту.

При впровадженні інвестиційного проекту підприємство несе разові витрати, пов'язані з розробкою проекту, а також з придбанням і налагодженням необхідного обладнання, засобів програмного забезпечення і таке інше.

Такі разові витрати називають капітальними витратами або інвестиціями. При використанні іновацій підприємство отримує певний ефект, що зазвичай виражається приростом прибутку. При розрахунках ефективності необхідно врахувати додаткові річні витрати підприємства, пов'язані з експлуатацією нового обладнання. Величина щорічного прибутку, додатково одержуваного підприємством за рахунок впровадження інвестиційного проекту, повинна бути достатньо високою у порівнянні з капітальними витратами підприємства та у порівнянні з іншими можливими варіантами вкладення коштів у розвиток виробництва.

Таблиця 3.1. Опис ідеї стартап-проекту.

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка програми для вимірювання розмірів зон лінійних індуктосинів.	Зменшення похибок вимірювання геометричних розмірів зон лінійних індуктосинів.	Впевненість у якості роботи лінійного індуктосину.
	Уточнений розрахунок зони елемента.	Забезпечення себе від можливого фінансового прорахунку, і довговічності безпечного та якісного використання лінійних індуктосинів.
	Аналіз математичних моделей при виборі нової елементної бази	
	Визначення відповідності заявлених характеристик від виробника з дійсними характеристиками лінійних індуктосинів, при їх експорті та імпорті.	Можливість контролю роботи лінійних індуктосинів.

Перспективи післяпроектної діяльності мають серйозно розглядатися ще до завершення проекту. Здобутки, соціальні очікування і динаміка, що виникли і розкрилися в результаті реалізації проекту, не мають бути втрачені.

Розвиток проекту може плануватися у напрямі розширення його географії; зміни цільової групи зі збереженням основної ідеї проекту; поширення здобутих результатів на інші вікові категорії; продовження роботи з тією ж групою осіб, але вже за іншими напрямками тощо.

У таблиці 3.3 За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням потенційних товарів та концепцій конкурентів.

Таблиця 3.2. Визначення характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко- економічні характерис- тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (ней- тральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку- рент1	Конку- рент2	Конку- рент3			
1.	Вартість приладу, \$	80	200	150	130	-	-	+
2.	Швидкість встановлення, хв	5	12	24	15	+	-	-
3.	Вартість обслуговування	80	200	400	450	-	-	
5.	Затрати на виробництво	Високі	Середні	Низькі	Середні	-	-	-
6.	Відносини з органами державної влади	Добрі	Добрі	Добрі	Добрі	-	+	-
7.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+	-	-

Отже, пропонується програма, оновна функція якої є розгляд зон лінійних індуктосинів на основі математичного моделювання. Експериментально доведено, що застосування математичного моделювання дозволяє більш точно визначати межі зони шуму та вимірювати його геометричні розміри. Завдання зробити прилад доступним для широкого використання у експрес-діагностиці, зменшити його вартість та тривалість вимірювань стали завданням для цього етапу роботи.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 3.2).

Для формування конкурентоспроможності запропонованого товару на ринку визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології (методу визначення), за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту.

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка програми для детального розгляду зображень зон лінійних індуктосинів.	Створення програми для знаходження та визначення шумів на основі математичного моделювання	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод доступний
2	Вибір елементної бази на основі математичного моделювання та розробка приладу	Вибір елементної бази на основі математичного моделювання та розробка приладу	Метод визначення на якому побудований прилад відкритий	Метод малодоступний
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка програми для детального розгляду зображень зон лінійного індуктосину.	Створення програми для знаходження та визначення шумів на основі математичного моделювання	Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка програми для детального розгляду зображень зон лінійного індуктосину	Створення програми для знаходження та визначення шумів лінійного індуктосину	Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Розробка програми для детального розгляду зображень зон лінійних індуктосинів

Проаналізувавши таблицю 3.3 можна зробити висновок що наш проект можна реалізувати за допомогою більшості методів, які доступні на даний момент, але серед доступних нам ми обираємо метод математичного моделювання та будемо використовувати його для реалізації нашої ідеї.

3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2872000 (100x28720)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патентування продукту, середня конкуренція, високий показник якості обслуговування.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ EN 94326-2-1:219 ДСТУ EN 95060-2-033:2017 ДСТУ EN 95060-2-219:2017
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	73%

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням. Це дозволяє планувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку. Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту.

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Точна інформація розрахунку рентабельності лінійних індуктосинів	Підприємства, які виготовляють продукцію і використовують дешеві деталі для створення готового лінійного індуктосину. Підприємства, які реалізують продукцію на території держави, або купують її для експорту. Кінцевий користувач(покупець)	Технічні стандарти які встановлюються на підприємствах. Після купівлі нашого програмного забезпечення вимірювань з інтегрованим програмним забезпеченням клієнт може користуватися нею при розрахунках на протязі вказаного періоду після чого йому доведеться продовжити договір з продавцем.	<p>- до продукції</p> <p>Невеликі розміри приладу.</p> <p>Можливість проведення досліджень в польових умовах.</p> <p>Невелика чутливість приладу до зовнішніх чинників.</p> <p>Можливість виведення результатів на комп'ютер.</p> <p>Безперебійна робота приладу.</p> <p>Зрозуміле управління приладом.</p> <p>Великий термін експлуатації.</p> <p>- до компанії-постачальника</p> <p>Відповідність приладу заданим характеристикам.</p> <p>Можливість технічної підтримки при виникненні проблем.</p> <p>Ввідний інструктаж по роботі з програмним забезпеченням.</p>

При купівлі даного продукту клієнт може зіткнутися з певними проблемами. Для їх попередження і швидкого виправлення необхідний постійний зв'язок користувача з виробником, наявність висококваліфікованих працівників для роботи з усуненням цих проблем. (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6. Фактори загроз.

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною.	Вивчення продукції конкурентів та вдосконалення своєї, для задоволення всіх потреб користувачів.
2.	Інфляція	Падіння курсу гривні, рубля, за рахунок чого можуть зменшитися продажі	Реалізація продукту в більш стабільній (іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
3.	Наявність локального конфлікту на сході	Може вплинути на коло потенційних покупців.	Пошук нових клієнтів на міжнародному ринку
4.	Постачання	Проблема з фірмами постачальниками	Зміна політики розповсюдження продукту
5.	Технічний	Збої в роботі програмного забезпечення	Спрощення алгоритмів налаштування або впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

Наявність певних загроз реалізації продукції дозволить вдосконалювати програменне забезпечення та завжди бути в курсі всіх наукових новинок та економічної ситуації в країні, що забезпечить вміння розвиватися при складних умовах та можливість конкурувати з головними гравцями ринку і підняття свого рівня. Окрім певних загроз, ми маємо ряд переваг та можливостей. (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7. Фактори можливостей.

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару.	Впровадить технологію і змінить вартість товару.
2.	Попит	Збільшення попиту на товар на ринку.	Збільшення продажів, а відповідно і прибутків компанії
3.	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку.

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Олігополія	Можливість домовленості з іншими олігополістами для отримання взаємної вигоди
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний	Вдосконалення продукту і пошук можливості виходу на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Розширення ринку за рахунок збільшення попиту
4. Конкуренція за видом товарів	Товарно-видова	Вдосконалення та реклама для показу переваг
5. За характером конкурентних переваг	Нецінова	Вдосконалення свого продукту і при цьому невелике зменшення цін відносно конкурентів
6. За інтенсивністю	Не марочна	Розробка бренду і його активна реклама

Після аналізу конкуренції (таблиця 3.8) проведемо більш детальний аналіз але серед доступних нам ми обираємо метод математичного моделювання та будемо використовувати його для реалізації нашої ідеї для умов конкуренції в галузі.

Таблиця 3.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером.

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	На даний момент на ринку присутні 3 прямі конкуренти, які займаються виготовленням даного обладнання	Патенти на продукти. Законодавчі обмеження. Гнучкі ціни.	Постачальниками є інтернет магазини який займаються розповсюдженням програмного забезпечення. Диференціація витрат. Концентрація постачальників. Значення розміру поставок	Основними клієнтами є підприємства легкої промисловості. Розмір закупівель. Система інформації. Прибутки. Контроль якості.	Компанія володіє доволі сильною пропозицією, максимальна схожі доступні аналоги практично відсутні
Висновки :	Проводити аналіз пропозицій, працювати над зниженням собівартості	Потенційних конкурентів немає	Так як концентрація постачальників доволі висока вони не диктують умови роботи на ринку.	Для клієнтів головне ціна, вони хочуть платити менше.	Підтримувати хороші позиції на ринку та конкурентну перевагу, розробляти нові види.

Провівши аналіз факторів робимо обґрунтування конкурентоспроможності. Точна оцінка конкурентоспроможності можлива лише після впровадження приладу, тому робимо лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

До факторів, що будуть позитивно впливати на розвиток та можливості реалізації запропонованого технічного рішення можна віднести: потребу в автоматизованій процесу збору та аналізу даних стану захворюваності населення в державі, мінімальна конкуренція, різкий попит, використання нових технологій та покращення зручності використання програми.

Наступним кроком проведемо аналіз пропозиції, при якому визначаються загальні риси конкуренції на ринку. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку наведено у таблиці 3.10

Таблиця 3.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна	Підтримка зворотного зв'язку з клієнтами, усунення виниклих проблем при роботі, вдосконалення приладу, а відповідно збільшення попиту на продукт, що в результаті дозволить знизити ціну.
2	Велика кількість постачальників	Наявність приладу та своєчасна доставка продукту клієнту.
3	Висока якість	Висока якість і точність приладу, яка дозволяє клієнту отримувати максимально точний результат вимірювань.
4	Технічна підтримка	Наявність досвідчених спеціалістів, які зможуть швидко вирішити будь яку проблему в роботі приладу.
5.	Наявність патентів	Наявність патенту на приладу, це дає споживачу упевненість в тому що він купує сертифікований продукт

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є:

- - застосування наукових підходів до стратегічного менеджменту;
- - забезпечення єдності розвитку техніки, технології, економіки, управління;
- - застосування сучасних методів дослідження й розробок (програмно-цільове планування, теорія прийняття рішень і т.д.);
- - розгляд взаємозв'язків функцій управління будь-яким процесом на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта;
- - формування системи заходів із забезпечення конкурентоспроможності різних об'єктів.

Аналізуючи визначення сутності «конкурентоспроможність» можна виділити наступні ознаки даного поняття

Таблиця 3.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін приладу.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з нашим приладом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	16	+						
2	Велика кількість постачальників	15				+			
3	Висока якість	17	+						
4	Технічна підтримка	19	+						
5.	Ціна	14							+

З таблиць 3.10 та 3.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

За результатами аналізу таблиці 3.11 можна зробити висновок про можливість роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також було зроблено висновок щодо характеристик, які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку, такі як заохочення з боку держави.

Таблиця 3.12. SWOT- аналіз стартап-проекту.

<p>Сильні сторони:</p> <p>За наявності патентів споживач впевнений в якості отриманого продукту.</p> <p>За рахунок хорошої підтримки ми закріплюємо свої позиції на ринку.</p> <p>Завдяки високій якості продукту приваблюються нові клієнти.</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Так як на ринку багато постачальників, у клієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників.</p> <p>За рахунок високої ціни клієнти обирають більш дешевий продукт, що призводить до втрати потенційного заробітку.</p>
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зміниться технологія виготовлення товару. 2. Збільшення попиту на товар на ринку. 3. Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва. 4. Може вплинути на купівлю/продаж товару. 5. Підвищення зацікавленості людей впливу різних речовин і продуктів на навколишнє середовище. 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість появи на ринку іноземних аналогів з кращими характеристиками і нижчою ціною. 2. Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитися продажі 3. Може вплинути на коло потенційних покупців. 4. Проблема з фірмами постачальниками. 5. Збої в роботі приладу.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 3.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту.

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) поведінки ринкової	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Висока	1 рік
3	Стратегія виходу з ринку	Низька	

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

3.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

Вибір цільового сегмента, або мікросегментація, здійснюється на основі критеріїв сегментації ринку, розглянутих вище. Цільовий сегмент — це однорідна група споживачів цільового ринку фірми, що володіє схожими потребами і купівельними звичками стосовно товару фірми.

Кожному виробнику потрібно знайти той сегмент, ту групу споживачів, що мають однотипну реакцію на його маркетингову діяльність. Вибір правильного принципу сегментації суттєво впливає на результати комерційної діяльності. Обраний сегмент ринку має відповідати таким п'яти умовам:

- бути достатньо містким;
- мати можливості подальшого зростання;
- не бути об'єктом активної комерційної діяльності конкуруючих фірм;
- характеризуватися потребами, що їх дана інформаційна фірма може задовольнити;
- існувати протягом достатньо тривалого часу.

Таблиця 3.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів.

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Зазначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з вдосконаленням приладу та розширення його функціональних можливостей.	Залежатиме від рівня та від темпу розвитку економіки взагалі і галузі споживача зокрема	Середня	Середні бар'єри входу на ринок
2	Державні установи контролю якості продукції.			Середня	Середні бар'єри входу на ринок
3	Інститути, вчені яких проводять дослідження в даній області			Середня	Середні бар'єри входу на ринок

Центральним моментом в орієнтації підприємства на конкурент-ному ринку є базова стратегія конкуренції, що являє собою основу конкурентної поведінки підприємства на ринку й окреслює схему забезпечення переваг над конкурентами. Від її правильного вибору залежать всі подальші маркетингові дії цінова політика.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 3.15. Визначення базової стратегії розвитку.

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Підсилення сильних сторін стартапу за рахунок ринкових можливостей	Диференційований маркетинг	Якісний продукт, до якого прихильні споживачі, постійний зворотній зв'язок з клієнтами.	Стратегія диференціації

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання. З огляду на те, що з двох цільових категорій обрано одну, то за стратегію охоплення ринку стратегію концентрованого маркетингу. За базову стратегію розвитку обираємо стратегію диференціації оскільки більшість методів на ринку при обробці фотометричних зображень не забезпечуються високої якості дослідження. Жодне підприємство не може досягти переваги над конкурентами за всіма комерційними характеристиками. Тому необхідний вибір пріоритетів і розробка стратегії, яка найбільше відповідає ринковій ситуації й найкращим чином використовує сильні сторони діяльності підприємства. Ця обставина визначає необхідність детального обґрунтування даної процедури. До загального недоліку процесу розробки стратегії конкуренції можна віднести його слабку персональну орієнтацію. Часто стратегія зорієнтована лише на протидію конкурентам і меншою мірою враховує особливості управління цими підприємствами. Разом з тим, тип поведінки керівників, освіта керівників підприємства, їх підходи до ведення бізнесу, досвід, здібності та інші персональні характеристики багато в чому визначають можливі реакції та зміни на ринку. Це означає, що стратегія конкуренції повинна розглядати як об'єкт суперництва не лише продукт підприємства, але й апарат управління підприємством з притаманним йому стилем керівництва, що дозволить точніше й адекватніше реагувати на можливі зміни на цільовому ринку. Крім того, необхідно пам'ятати, що головна мета конкуренції — завоювання бюджету споживачів. І тому сенс конкуренції полягає не в діях проти

підприємств-суперників, а в завоюванні конкретних споживачів, що користуються конкретними товарами чи послугами.

Центральним моментом в орієнтації підприємства на конкурентному ринку є базова стратегія конкуренції, що являє собою основу конкурентної поведінки підприємства на ринку й окреслює схему забезпечення переваг над конкурентами. Від її правильного вибору залежать всі подальші маркетингові дії цінова політика. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.16).

Таблиця 3.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки.

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Передбачається розвиток ринку	Ні, не буде. Буде утворено унікальну продукцію	Зайняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект. Наступним кроком є вибір стратегії позиціонування, пропозиція якої наведена в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17. Визначення стратегії позиціонування.

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Вдосконалення продукту враховуючи побажання споживачів	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія. З огляду на те, що з двох цільових категорій обрано одну, то за стратегію охоплення ринку стратегію концентрованого маркетингу. За базову стратегію розвитку обираємо стратегію диференціації оскільки більшість методів на ринку при обробці фотометричних зображень не забезпечуються високої якості дослідження.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 3.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару.

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Потреба в контролі якості та вирахування точного прибутку від їх використання.	Отримання результатів про склад продукції, який важко або неможливо визначити іншими пристроями або методами.	Постійна технічна підтримка. Безперебійна робота приладу. Систематизація та спрощення обробки результатів досліджень.

Запропонована технічна реалізація системи для проведення моніторингу може задовольнити основні потреби, що можуть бути висунуті споживачами. Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання. Опис трьох рівнів моделі товару наведено в таблиці 3.19

Таблиця 3.19. Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення програми для вимірювання розмірів зон лінійного індуктосину застосуванням математичного моделювання. Можна виділити наступні вигоди використання: Максимально точне виявлення шумів елементної бази; Можливість розповсюдження приладів на міжнародні ринки, завдяки якості.
II. Товар із підкріпленням	До придбання товару, користувач може зайти на сайт, скачати пробну версію програмного забезпечення, яка діє протягом 30 днів і якщо програма його задовольняє він може купити версію, і продовжити роботу з програмою на один календарний рік. Після придбання товару один раз на рік клієнт буде отримувати пропозицію оновити версію програми через мережу з виправленням попередніх помилок.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Від копіювання товар буде захищено шляхом патентування коду (отримання сертифікату про інтелектуальну власність) та надання кожній проданій копію індивідуального ліцензійного коду який необхідно вводити при запуску програми.	

З таблиці 3.19 можна зробити висновок про проведення опису трьох рівнів моделі товару встановлено та описано задум майбутнього товару, приведено головні властивості і технічні характеристики та проходження процесу патентування, в якості основного способу захисту обрано оформлення авторського права на систему та введення системи прив'язки та активації ліцензій.

Далі визначаємо цінові межі, якими необхідно користуватися при визначенні ціни продукту, щоб він користувався попитом на ринку. При аналізі цінових меж та встановленні ціни необхідно враховувати ціни на прилад, які пропонують конкуренти та доходи потенційних клієнтів. (таблиця 3.20).

Таблиця 3.20. Визначення меж встановлення ціни.

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	22 000 – 100 000 грн.	35 100 – 117 000 грн.	300 000 – 400 000 грн.	17 990-20 490 грн.

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням, але серед доступних нам ми обираємо метод математичного моделювання та будемо використовувати його для реалізації нашої ідеї.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 3.21). Система збуту передбачає наявність в структурі підприємства підрозділів, безпосередньо зайнятих реалізацією продукції на ринку (як на зовнішньому, так і внутрішньому). Функції та обсяги повноважень таких підрозділів різні. У порівнянні з маркетингом товарів усередині країни залами створення каналу збуту й управління ним на зовнішньому ринку значно складніше. Головною з них є забезпечення доставки товару кінцевим споживачам в потрібний час і способом, найбільш вигідним виробнику.

Таблиця 3.21. Формування системи збуту.

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Покупка товару один раз	Можливість купити програму через інтернет	Канал збуту нульового рівня	Мережа інтернет

Основним каналом збуту є продаж ліцензійних ключів на програмне забезпечення. В якості системи збуту обрано канал власної методики збуту через продаж на інтернет ресурсі розробленого проекту програмного забезпечення. Ефективною вважається така система підібраних каналів збуту і методів, яка доводить товар до місця реалізації за дуже короткий термін, затрати на організацію мінімальні, обсяги продажу та прибутки максимально високі. Головною метою відбору методів і каналів збуту є скорочення сумарної величини збутових витрат, яке залежить від рівня комерційної роботи і служби збуту.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, представлено в таблиці(табл.3.22). Вона спрямована на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про свої товари і свою діяльність. Маркетингова комунікація охоплює будь-яку діяльність підприємства, спрямовану на інформування, переконання, нагадування споживачам та ринку в цілому про свої товари і свою діяльність[12].

Інформативна реклама — реклама, яку застосовують для повідомлення споживачів про новий товар або про нову особливість товару, а також для формування первинного попиту.

Таблиця 3.22. Концепція маркетингових комунікацій.

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікації, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Необхідність контролю якості лінійного індуктосину. Можливість виведення продукції на міжнародні ринки, через чистоту і прозорість їх складу.	Мережа інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	Спеціалізовані виставки	Проінформувати клієнта про те, що за допомогою приладу стає можливим максимально точно визначення якості лінійних індуктосинів, про які замовчують виробники.	Купуй тільки якісне, не витрачай свої гроші на низькопробні товари. Не хочеш потрапити в боргову яму – тобі до нас. Втомився вірити брехні від посередніх виробників – докопайся до істини.

Результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, стану ринку, на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку. Інтегровані маркетингові комунікації як концепція планування маркетингових комунікацій, що виходить із необхідності оцінки стратегічної ролі кожного з її елементів (реклами, стимулювання збуту, PR, особистого продажу тощо) у стратегії просування, пошуку їх оптимального сполучення для забезпечення чіткого й послідовного впливу комунікаційних програм компанії для просування конкретної марки. Інтегрування маркетингових комунікацій підвищує значимість комплексу просування. Це дозволяє зберегти єдине позиціонування в межах кожного цільового сегменту, інструменти комунікації підсилюють один одного і створюють ефект синергії. Синергізм проявляється в тому, що ефект комплексного застосування засобів комунікації (інтегрованих комунікацій) відрізняється від простого додавання ефектів від застосування кожного засобу окремо. Для досягнення ефекту синергії основним принципом під час прийняття рішення про використання декількох засобів комунікації є вибір одного засобу комунікації як основного і декількох - допоміжних. Основний засіб комунікації - має бути здатним самостійно і ефективно впливати на споживачів. Допоміжні - повинні заповнити можливі прогалини в охопленні цільової аудиторії. Вони можуть досягти окремих цілей комунікації з найменшими витратами або забезпечити додаткові переваги з точки зору впливу на споживача в місці продажу чи споживання товару.

3.6 Висновки

Провівши детальний аналіз стартап проекту, можна зробити висновок, що даний продукт буде цікавий потенційним клієнтам і має хорошу можливість ринкової комерціалізації. У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

Формування внутрішньовиробничих карт звітності з якості продукції отриманих за допомогою розробленого засобу вимірювань з подальшою реєстрацією результатів вимірювань в ДП"Укрметртестстандарт".

Проведення публічної презентації результатів проекту серед цільової групи користувачів, та широкого кола науковців на профільних заходах.

Провести дієву рекламну компанію за допомогою електронних та друкованих профільних для галузі застосування засобу вимірювань видань, для зацікавлення продуктом потенційних користувачів.

Підтримувати зворотній зв'язок з клієнтами, удосконалювати вимірювальний засіб для задоволення рекламаций клієнтів що виникли в процесі технічного обслуговування засобу вимірювань.

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт.

ВИСНОВКИ

В першому розділі дисертації розглянуто принцип дії, конструкцію та параметри і характеристики індуктосинів. Проаналізовано математичну модель індуктосину. Поворотний і лінійний індуктосин розглянуто як аналогічні один до одного пристрої. Надано аналіз джерел і величини похибок індуктосину. Наведено приклад практичного застосування індуктосинів у системах числового програмного управління металообробних верстатів підвищеної точності.

В другому розділі проаналізовано схему електричну структурну вимірювальної системи верстату із числовим програмним управлінням типу Mikromat 9B, на якому встановлювали вдосконалений пристрій Ф5291. В результаті проведеного вдосконалення системи вимірювання координат на основі пристрою Ф5291 за рахунок заміни застарілої транзистрної елементної бази із незадовільним рівнем власних шумів в підсилювачі вимірювальної лінійки індуктосину на операційні підсилювачі призвело до покращення відношення сигнал/шум на 50%. Вдосконалення схеми підсилювача дозволило відновити функціональні можливості верстату Mikromat 9B і продовжити термін його експлуатації.

Перелік використаних джерел

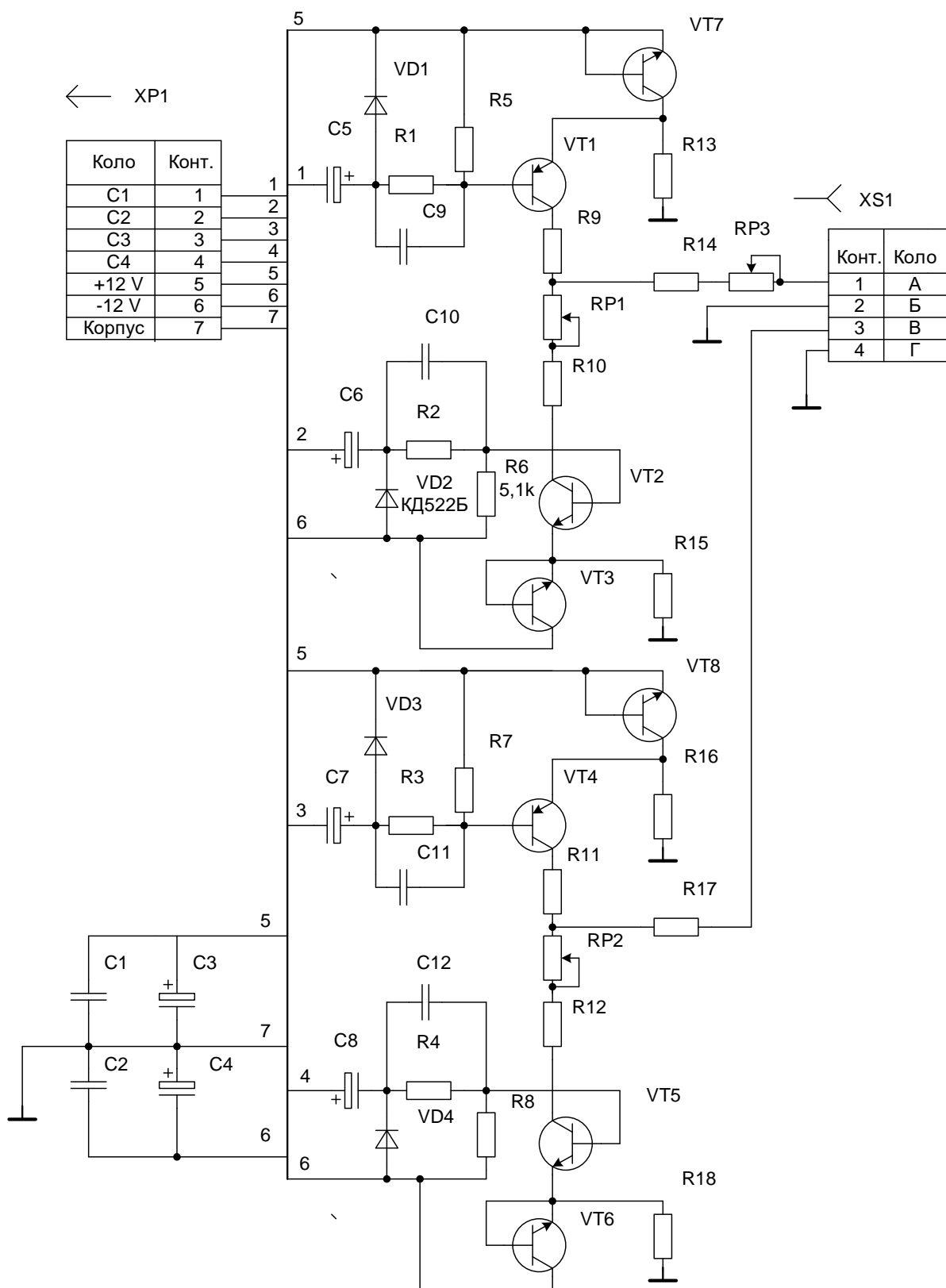
1. Машков В.Е. Плоские трансформаторы (по зарубежным источникам). Передовой научно-технический и производственный опыт, Тема 29, 1963 г.
2. Tripp R. W. Патент США № 2799835, 1957 г.
3. Бычатын Д.А. Авторское свидетельство №117852 кл. 42, 1955.
4. Finden H.I., Horlock B.A. The inductions and its application, The Journal of the British Institution of Radio Engineers, 1957, 17, №7, 363.
5. Tripp R. W. Патент США № 2849668, 1958.
6. www.powere.com
7. Устройства цифровой индикации Ф5290, Ф5291. Инструкция по эксплуатации. – Київ, “Росток”, 2000. – 58 с.
8. Устройства цифровой индикации Ф5290, Ф5291. Руководство по текущему ремонту – Київ, “Росток”. – 2000. – 100 с.
9. Устройства цифровой индикации Ф5290, Ф5291. Бюллетени 8РБ, 9РБ, 10РБ. – Київ, “Росток”. – 2000. – 42 с.
- 10.Макаренко В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI MULTISIM // ЭКиС – Киев: VD MAIS, 2008, №№ 1, 2, 3, 4, 6, 7.
- 11.Карлащук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. Изд. 3:е переработанное и дополненное. – М.: СОЛОН:Пресс. 2003. – 736 с.
- 12.Хернитер Марк Е. Электронное моделирование в Multisim. М.: ДМК Пресс, 2011. – 492 с.
- 13.Рыбин Ю.К. Электронные устройства: Учебное пособие. / Ю.К. Рыбин. – Томск: Из-во: «Печатная мануфактура», 2003. – 264 с.
- 14.Робинсон Ф.Н.Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях. Пер. с англ. / Ф.Н.Х. Робинсон. – М.: Автомиздат, 1980. – 256 с.
- 15.Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов. / В.П. Дьяконов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 384 с..
16. Устройство и методика формирования тестовых акустических сигналов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// dlib.rsl.ru/01006548189](http://dlib.rsl.ru/01006548189), свободный. – Загл. с экрана. 7 Тупицына А.И. Методы компьютерного

- моделирования физических процессов и сложных систем. Учебное пособие— СПб: Университет ИТМО, 2014. — 48 с.
17. Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. Учебное пособие. — СПб.: БХВПетербург, 2012. — 224 с.: ил.
18. Кельтон В. Имитационное моделирование /В. Кельтон, А. Лоу. — СПб.: Питер: Издательская группа BHV, 2004. — 847 с.
19. Multisim [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/National_Instruments, свободный. — Загл. с экрана.
20. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах./Г. Отт. — М.: Мир, 1974. — 320 с.
21. Johnson J.B., Thermal Agitation of Electricity in Conductors, Phys. Rev., 32, 97-109 (July 1928)
22. Nyquist H., Thermal Agitation of Electric Charge in Conductors, Phys. Rev., 32, 110-113 (July 1928)
23. Гусев В.Г. Электроника. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. — М.: Высшая школа, 1991 г. — 622 с.
24. Шумы транзисторов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://helpiks.org/5-25397.html>, свободный. — Загл. с экрана.
25. Van der Ziel. Proc IRE, 1962, v. 50, p. 1808.
26. Шумовые свойства. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://zpostbox.ru/fet/fet5.html>, свободный. — Загл. с экрана.
27. Оптимизация шумовых параметров сигнальных цепей. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/9/4-optimizatsiya-shumovyih-parametrovsignalnyih-tsepey-chast-1>, свободный. — Загл. с экрана.
28. Ботвінко Р.О. Нестандартне використання Multisim на прикладі отримання вольт-амперної характеристики діоду на осцилографі /Р.О. Ботвінко, А.Н. Ніколаєв, М.В. Петров Проблеми оптимізації лінійного контролера: теорія і практичні рішення /А.Д. Руденко, Б.В. Мельничук. //Збірник праць 16-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні». — 8-9 грудня 2018 р. — м. Київ. — 4с. С. 214-217.

29.Ботвінко Р.О. Моделювання шумів операційних підсилювачів в Multisim /Р.О. Ботвінко, Божко К.М. //Матеріали Міжнародної наукової інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 54). – 10 грудня 2020 р. – м. Тернопіль. – 2с.

ДОДАТОК А.

Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної голівки індуктосину



ДОДАТОК Б.

Схема електрична принципова підсилювача вимірювальної лінійки індуктосину

